



ООО «ВИРАЖТРАНС-ЭНЕРГО»

В.Ф.Колбасов, С.Ю.Савельев, Й. Хентшель

**ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ И КОМПОНЕНТЫ СИЛОВЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ**

(Справочное руководство)



г. Тольятти – 2011 г

О Г Л А В Л Е Н И Е	Стр.
1. Введение	3
2. Электроизоляционные материалы	6
2.1 Картон электроизоляционный	7
2.1.1 Горячепрессованный картон	7
2.1.2 Каландрированный картон	10
2.1.3 Формуемый картон	12
2.1.4 Блочный картон	14
2.1.5 Картон с дискретным клеевым покрытием	15
2.2 Электроизоляционная бумага	17
2.2.1 Намоточная электроизоляционная бумага	17
2.2.2 Изоляционная крепированная бумага	20
2.3 Древесно-слоистый пластик электроизоляционный	26
3 Электроизоляционные компоненты	29
3.1 Дистанцирующие прокладки	29
3.2 Дистанцирующие рейки	33
3.3 Угловые шайбы и секторы прямые и обратные	37
3.4 Прессующие кольца и панели	41
3.5 Бумажно-бакелитовые цилиндры	43
3.6 Цилиндры электроизоляционные из картона	44
3.7 Комплект изоляции обмоток в сборе	47
3.8 Опорные и подъемные кольца	48
3.9 Емкостные кольца	49
3.10 Экранирующие цилиндры и металлизированные экраны	51
3.11 Дистанцирующие кольца	54
3.12 Лента с дистанцирующими блоками и рейками	56
3.13 Крепированные трубки	60
3.14 Электроизоляционные шпильки и гайки	61
3.15 Ярмовые прессующие балки	62
Литература	64

1. Введение

Надежная долговременная работа силовых маслонаполненных трансформаторов и реакторов в значительной степени определяется совершенством системы электрической изоляции, правильностью выбора и качеством используемых электроизоляционных материалов и компонентов.

В конструкции силовых трансформаторов масса твердой изоляции составляет, примерно 8% от полной массы аппарата. Это, в основном, детали и компоненты из различных сортов картона электротехнического назначения, изоляция, изготавливаемая из намоточной и крепированной бумаги. Высоконагруженные элементы конструкции часто производятся из особых электротехнических сортов древесно-слоистого пластика на основе утолщенного букового шпона. Эти материалы и компоненты, наиболее широко используемые при изготовлении трансформаторов, как раз и явились предметом рассмотрения в данном справочном руководстве.

Это Руководство ни в коей мере не претендует на исчерпывающую полноту освещения материалов по всем видам изоляционных материалов, применяемых в конструкциях всего многообразия трансформаторного оборудования. Оно совершенно не касается, например, таких специальных материалов, как гетинакс, текстолит, стеклотекстолит, лакоткань, высокотемпературные бумага и картон типа NOMEX и др.

Целью разработки настоящего справочного руководства явилось обобщение материалов, разрозненных по различным фирменным, нормативным и пр. источникам. Оно может быть полезно персоналу, занятому разработкой конструкторской документации для производства, ремонта и модернизации трансформаторного оборудования, помогая сориентироваться и получить представление о многообразии базисных электроизоляционных материалов, специально разработанных и используемых при изготовлении силовых маслонаполненных трансформаторов и реакторов, а также о широкой номенклатуре готовых электроизоляционных деталей и компонентов, предлагаемой современным рынком.

Сведения, приводимые в настоящей публикации по назначению, способам производства, составу и основным техническим характеристикам, призваны облегчить правильный выбор материалов для переработки самим Заказчиком или выбрать готовые компоненты изоляции, изготавливаемые специализированными компаниями. Обычно, это наиболее сложные и ответственные компоненты изоляции, для качественного изготовления которых требуются специальное технологическое оборудование, дорогостоящая оснастка, постановка исследовательских работ и солидный опыт.

Большинство трансформаторостроительных и ремонтных предприятий используют комбинированный метод создания изоляции, когда часть изоляции трансформатора заготавливается на месте, а часть наиболее ответственных компонентов и деталей заказывается на стороне. Все более популярным становится заказ полного комплекта изоляции в сборе для изготовления высоковольтных обмоток, включающего: главные изоляционные цилиндры, дистанцирующие прокладки, прошивные рейки, опорные и подъемные кольца, емкостные кольца, верхние и нижние прессующие кольца (панели).

Обращение к справочному руководству может оказать помощь в выборе готовых прогрессивных решений по конструкции отдельных компонентов изоляции и четко сформулировать технические требования для заказа необходимых материалов и изделий.

ООО «Виразтранс-Энерго» поставляет как высококачественные базисные электроизоляционные материалы для изготовления деталей и систем изоляции, так и полностью готовых компонентов и сборочных единиц, необходимых для создания или восстановления изоляционных систем трансформаторного оборудования. Производителями и поставщиками электроизоляционных материалов, деталей и компонентов на их основе являются хорошо известные компании, поставляющие свою продукцию по всему миру для самых авторитетных трансформаторных заводов [1-20].

Значительная часть современных материалов, пока не производимых в РФ, поставляется из-за рубежа от авторитетных компаний из Германии [1-3,12-14], Швейцарии [5], Швеции [19], Италии [15], Украины [20]. Предлагается, прежде

всего, изоляция на базе чистой сульфатцеллюлозы (различные виды электроизоляционного картона, определенные сорта изоляционных бумаг и пр.) и букового древесно-слоистого пластика.

Поставляемые материалы соответствуют рекомендациям МЭК и нормам ГОСТ. Качество изготовления материалов и компонентов подтверждается протоколами испытаний и сертификатами. На всю поставляемую продукцию распространяются в полном объеме гарантии производителей. Поставка изоляционных материалов производится в форматах, удобных для Заказчика. Детали и компоненты изготавливаются по чертежам Заказчиков, согласованным с изготовителем.

2. Электроизоляционные материалы

Эксплуатационная надежность трансформаторного оборудования в решающей степени определяется совершенством конструкции систем изоляции и качеством применяемых электроизоляционных материалов.

Для изготовления силовых, распределительных, локомотивных и др. маслонаполненных трансформаторов и электрических реакторов с бумажно-масляной системой изоляции наибольшее применение находят специальные электротехнические сорта картона, бумаги и древесно-слоистого пластика. Общая масса этих материалов в конструкции трансформаторов составляет, ориентировочно 8%.

Электроизоляционные сорта материалов ведущих производителей гарантировано свободны от присутствия опасных для электрических аппаратов токопроводящих частиц. Сплошное сканирование материалов при их производстве позволяет выявить наличие и координаты нахождения таких частиц (например, охотничья дробь в шпоне ДСП), вырезать дефектное место и не допустить поставку некачественного материала потребителям.

Кроме того они обладают химической чистотой, хорошо совместимы с применяемыми жидкими диэлектриками, относительно легко освобождаются при сушке от адсорбированной влаги, хорошо пропитываются маслом (или др. применяемым диэлектриком-теплоносителем), устойчивы в условиях комплексного воздействия жестких механических, термических, химических, гидравлических нагрузок, в электромагнитных полях высокой напряженности.

В настоящем разделе представляются наиболее востребованные при производстве, модернизации и ремонте трансформаторов и реакторов такие электроизоляционные материалы: специальные типы картона, бумаги и древесно-слоистого пластика.



Электроизоляционный картон



Электроизоляционная бумага



Древесно-слоистый пластик

2.1 Картон электроизоляционный

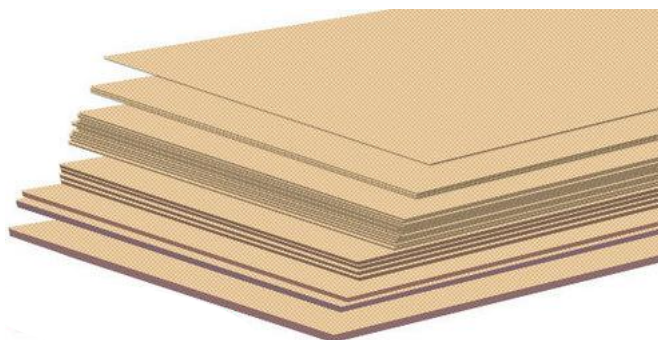
2.1.1 Горячепрессованный картон [2,3,7-10,18]

МЭК 60641-1 тип В 3. ГОСТ 4194-88, класса В:

Назначение:

Изготовление изоляционных деталей и компонентов силовых трансформаторов, ответственных за обеспечение динамической устойчивости обмоток трансформаторов при КЗ, за недопущение распрессовки обмоток в процессе эксплуатации:

- прошивные рейки,
- дистанцирующие прокладки,
- главные цилиндры
- дистанцирующие кольца,
- опорные кольца,
- прессующие кольца
- прессующие панели,
- опорные элементы,
- сердечники емкостных колец



Основа материала:

Спрессованные чистые волокна небеленой сульфатцеллюлозы хвойных пород деревьев.

Особенности производства:

Кипа, состоящая из расчетного количества слоев отжатой под вакуумом целлюлозы, полученная на форматном вале бумагоделательной машины, после срезки и снятия с форматного вала сушится между обогреваемыми плитами этажного пресса при периодической подпрессовке.

Основные характеристики:

Высокая механическая и электрическая прочность

Малая сжимаемость и высокая упругость

Малая усадка при эксплуатации

Хорошо поддается механической обработке резанием

Относится к классу материалов высокой плотности

Хорошо пропитывается и хорошо совместим с трансформаторным маслом

Устойчив в среде и других жидких диэлектриков

Плотность, г/см³

МЭК 60641-1 тип В 3.1.:

1,10 - 1,30

ГОСТ 4194-88, класса В:

0,95 – 1,2

Толщина листа, мм:

1 - 8

Формат листа, макс., мм

6300 x 3200 (подлежит раскрою на
меньшие форматы)

Класс нагревостойкости,

A (105°C)

Токопроводящие включения:

отсутствие

Таблица 2.1.1

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЯЧЕПРЕССОВАННОГО ЭЛЕКТРОКАРТОНА
UB-HD [18]**

МЭК 60641-3-1 тип В 3.1

№ пп	Свойства	Толщина	Единицы измерения	Мин./Макс. Диапазон	Показатели
1.	Допустимые отклонения по Толщине	≤ 1,6 мм > 1,6 мм	%	Макс.	± 7,5 ± 5,0
2.	Кажущаяся плотность	≤ 1,6 мм >1,6-3,0 >3,0-6,0 >6,0-8,0	г/см ³	Диапазон	1,00-1,20 1,10-1,25 1,15-1,30 1,20-1,30
3.	Разрушающее напряжение при разрыве в машинном направлении	≤ 1,6 мм >1,6-3,0 >3,0-6,0 >6,0-8,0	МПа	Мин..	100 105 110 110
4.	Разрушающее напряжение при разрыве поперек машинного направления	≤ 1,6 мм >1,6-3,0 >3,0-6,0 >6,0-8,0	МПа	Мин..	76 80 85 85
5.	Относительное удлинение в машинном направлении	≤ 1,6 мм >1,6-3,0 >3,0-6,0 >6,0-8,0	%	Мин.	3,0 3,0 3,0 3,0
6.	Относительное удлинение поперек машинного направления	≤ 1,6 мм >1,6-3,0 >3,0-6,0 >6,0-8,0	%	Мин.	4,0 4,0 4,0 4,0
7.	Сжимаемость	≤ 1,6 мм >1,6-3,0 >3,0-6,0 >6,0-8,0	%	Макс.	10,0 7,5 5,0 4,0
7.	Усадка -поперек машинного направления -в машинном направлении -по толщине		%	Макс.	0,5 0,7 5,0
8.	Влажность		%	Макс.	6,0
9.	Зольность		%	Макс.	1,0
10..	Электропроводность водного экстракта	≤ 1,6 мм >1,6-3,0 >3,0-6,0 >6,0-8,0	мСм/м	Макс.	5,0 6,0 8,0 10,0
11.	pH водной вытяжки			Диапазон	6,0-9,0

Окончание таблицы 2.1.1

12.	Маслопоглощение	$\leq 1,6$ мм $>1,6-3,0$ $>3,0-6,0$ $>6,0-8,0$	%	Мин.	11,0 9,0 7,0 7,0
13.	Электрическая прочность на воздухе	$\leq 1,6$ мм $>1,6-3,0$ $>3,0-6,0$ $>6,0-8,0$	кВ/мм	Мин.	12,0 11,0 10,0 9,0
14.	Электрическая прочность в трансформаторном масле	$\leq 1,6$ мм $>1,6-3,0$ $>3,0-6,0$ $>6,0-8,0$	кВ/мм	Мин.	40,0 35,0 30,0 30,0

2.1.2 Каландрированный картон [2,3,7-10,18]

МЭК 60641-3-1 тип В 2.1:

Назначение:

Изготовление изоляционных деталей и компонентов распределительных, силовых и специальных трансформаторов, для которых при изготовлении требуется значительная деформация листа без разрушения структуры:

- цилиндры малых диаметров,
- штампованные детали
- прессованные детали,
- детали машинной формовки

Основа материала:

Спрессованные чистые волокна небеленой сульфатцеллюлозы хвойных пород деревьев.

Особенности производства:

Кипа, состоящая из расчетного количества слоев отжатой под вакуумом целлюлозы, полученная на форматном вале бумагоделательной машины, после срезки и снятия с форматного вала в виде листового материала сушится горячим воздухом при многократном прохождении через обогреваемые каландры.

Основные характеристики:

Хорошая механическая и электрическая прочность

Хорошо поддается механической обработке

Хорошая гибкость

Относится к классу материалов высокой плотности

Хорошо пропитывается и хорошо совместим с трансформаторным маслом

Устойчив в среде жидких диэлектриков

Плотность, г/см ³ :	1,10 - 1,30
Толщина листа, мм:	0,5 - 3
Класс нагревостойкости,	A (105°C)
Токопроводящие включения:	отсутствие
Поставляется в виде стопы листов определенных форматов	



Таблица 2.1.2

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЛАНДРИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОКАРТОНА
UB-LD [18]**

МЭК 60641-2-1 тип В 2.1

№ п.п	С в о й с т в о	Толщина	Единица измерения	Мин./Макс. Диапазон	Показатель	
1.	Допустимые отклонения по толщине	≤ 1,6 мм > 1,6-8,0	%	Макс.	± 7,5 ±5,0	
2.	Кажущаяся плотность		г/см ³	Диапазон	A 1,0-1,2	B 1,2-1,3
3.	Разрушающее напряжение при разрыве в машинном направлении	≤ 1,6 мм > 1,6-3,0 > 3,0-8,0	МПа	Мин.	A 80 80 80	B 110 110 110
4.	Разрушающее напряжение при разрыве поперек машинного направления	≤ 1,6 мм > 1,6-3,0 > 3,0-8,0	МПа	Мин.	A 55 55 50	B 80 85 80
5.	Относительное удлинение машинное направление поперек машинного направления.		%		A 6 9	B 7 8
6.	Сжимаемость		%	Макс.	Рассмотрение	
7.	Усадка -поперек машинного направления -в машинном направлении -по толщине		%	Макс.	0,7 1,0 5,0	
8.	Когезия между слоями		да/откл.		да/откл.	
9.	Влажность		%	Макс.	8,00	
10.	Зольность		%	Макс.	1,00	
11.	Электропроводность водного экстракта		мСм/м	Макс.	8,00	
12.	pH водной вытяжки			Диапазон	6,0-9,0	
13.	Маслопоглощение		%	Мин.	A 15	B 10
14.	Электрическая прочность на воздухе	≤ 1,6 мм > 1,6-3,0 > 3,0-8,0	кВ/мм	Мин.	14 13 17	
15.	Электрическая прочность в трансформаторном масле	≤ 1,6 мм > 1,6-3,0 > 3,0-8,0	кВ/мм	Мин.	40 35 25	

2.1.3 Формуемый картон [2,3,7-10,18]

МЭК 60641-1-3-1 тип В 4.1 и В 5.1:

Назначение:

Изготовление изоляционных деталей и компонентов силовых, распределительных и специальных трансформаторов с малыми радиусами кривизны методами намотки или формовки без нарушения структуры материала:

- трубки малого диаметра,
- цилиндры небольшого диаметра
- формованные изоляционные детали с малыми радиусами кривизны

Основа материала:

Спрессованные чистые волокна небеленой сульфатцеллюлозы хвойных пород деревьев.

Особенности производства:

Кипа, состоящая из расчетного количества слоев отжатой под вакуумом целлюлозы, полученная на форматном вале бумагоделательной машины, после срезки и снятия с форматного вала в виде листа сушится в печах горячим воздухом.

Основные характеристики:

Высокая гибкость

Хорошая формуемость

Достаточно высокая электрическая прочность

Поддается механической обработке

Относится к классу материалов низкой плотности

Хорошо пропитывается и хорошо совместим с трансформаторным маслом

Устойчив в среде иных жидких диэлектриков

Высокое маслопоглощение

Плотность, г/см ³ :	0,90
Толщина листа, мм:	0,5 - 3
Класс нагревостойкости,	A (105°C)
Токопроводящие включения:	отсутствие



Таблица 2.1.3

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОРМУЕМОГО КАРТОНА US-LD [18]
МЭК 60641-3-1 тип В 5.1

№ пп	Свойства	Толщина	Единицы измерения	Мин./Макс. Диапазон	Показатели
1.	Допустимые отклонения по толщине	≤ 1,6 мм > 1,6 мм	%	Макс.	± 7,5 ± 5,0
2.	Кажущаяся плотность		г/см ³	Диапазон	0,75-0,95
3.	Разрушающее напряжение при разрыве в машинном направлении		МПа	Мин..	50
4.	Разрушающее напряжение при разрыве поперек машинного направления		МПа	Мин..	40
5.	Относительное удлинение в машинном направлении		%	Мин.	6
6.	Относительное удлинение поперек машинного направления		%	Мин.	8
7.	Усадка -поперек машинного направления -в машинном направлении -по толщине		%	Макс.	1,5 1 6
8.	Сопротивление раздиру		Н/30 мм	Мин.	250
9.	Влажность		%	Макс.	8
10.	Зольность		%	Макс.	0,7
11.	Электропроводность водного экстракта		мСм/м	Макс.	8
12.	рН водной вытяжки			Диапазон	6,0-9,0
13.	Маслопоглощение		%	Мин.	25
14.	Электрическая прочность на воздухе в трансформаторном масле	≤ 1,6 мм > 1,6 мм	кВ/мм	Мин.	9 35 30

2.1.4 Блочный картон [2,3-5,7-10]

МЭК 60763-3-1 тип LB 3.1.1 и 3.1.2

Назначение:

Изготовление механически нагруженных изоляционных деталей и компонентов силовых трансформаторов, ответственных, прежде всего, за обеспечение динамической устойчивости обмоток трансформаторов при КЗ, за недопущение распрессовки обмоток в процессе эксплуатации:

- прессующие (нажимные) кольца
- прессующие панели,
- емкостные кольца
- ярмовые балки,
- рейки для сборки опорно-изоляционной конструкций силовых трансформаторов

Основа материала:

Листы горячепрессованного картона, склеенные между собой. Как и исходный картон блочный картон состоит из спрессованных чистых волокон небеленой сульфатцеллюлозы хвойных пород деревьев.

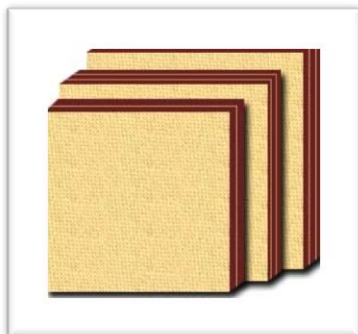
Особенности производства:

Блочный картон толщиной более 8 мм получают склеиванием отдельных листов горячепрессованного картона в обогреваемом прессе. В качестве клея используется казеиновый клей или связующее на основе сложного полиэфира.

Основные характеристики:

Высокая механическая и электрическая прочность
Малая сжимаемость и высокая упругость
Малая усадка при эксплуатации
Хорошо поддается механической обработке резанием
Относится к классу материалов высокой плотности
Устойчив в среде масла и других жидких диэлектриков

Плотность, макс., г/см ³	1,30
Класс нагревостойкости,	A (105°C)
Толщина плиты, мм	9 - 120
Токопроводящие включения:	отсутствие
Влажность, %	
при склейке казеиновым клеем	до 8
при склейке сложным полиэфиром	2 – 6



2.1.5 Картон с дискретным клеевым покрытием [1-11]

МЭК 641, Тип Р 4.1 (DDP)

Назначение:

Изготовление слоевой склеенной в блок изоляции при намотке обмоток распределительных маслонаполненных трансформаторов для повышения динамической стойкости обмоток и трансформаторов.

Тонкие сорта материала находят применение для создания наружных слоев изоляции специальных обмоточных проводов.

Основа материала:

Электроизоляционный каландрированный картон из чистых волокон небеленой сульфатцеллюлозы хвойных пород деревьев. Связующее – эпоксидный клеевой компаунд горячего отверждения

Особенности производства:

При пропускании рулона каландрированного картона через валки лак-машины на одной или обеих поверхностях картона методами печати наносятся отдельные квадратики эпоксидного клея 9,5 x 9,5 мм на расстоянии 6,7 мм. После прохождения через сушилку эпоксидное связующее частично отверждается, переходя в твердое состояние (стадия «В»).

При сушке обмоток отдельно или в составе трансформатора при температуре 120°C-130°C в течение 6-8 часов клей полностью отверждается, надежно склеивая отдельные витки слоевой изоляции обмоток между собой.

Основные характеристики:

Хорошая механическая и электрическая прочность

Хорошая гибкость

Хорошо пропитывается

Хорошо совместим с трансформаторным маслом

Устойчив в среде других жидких диэлектриков

Полное отверждение клея и склейки изоляции за период сушки трансформатора перед заливкой маслом.

Плотность, г/см³: 1,10 - 1,30

Толщина листа, мм: 0,1 - 1,0

Толщина клеевого покрытия, мм 0,02 ±0,01

Класс нагревостойкости, А (105°C)

Токопроводящие включения: отсутствие

Форма поставки:

рулоны шириной, мм 640 или 1280,

ленты шириной от мм 4

листы, мм: 640 x 800 или 800 x1280

Время жизни (срок хранения): до 120 дней при температуре ниже 30°C



Рис. 2.1.5 Рулон тонкого каландрированного картона / бумаги с дискретным нанесением клеевого покрытия [19]

2.2 Электроизоляционная бумага

2.2.1 Намоточная электроизоляционная бумага [2,4,17]

Назначение:

Создание электрической изоляции силовых и распределительных трансформаторов:

- доизоляция отводов обмоток
- намотка изолирующих трубок
- изготовление бумажно-бакелитовых цилиндров
- изолировка обмоточных проводов
- изготовление вводов

Основа материала:

Волокна чистой 100% небеленой сульфатцеллюлозы

Основные характеристики:

Высокая электрическая и механическая прочность

Хорошая гибкость

Совместимость с жидкими диэлектриками

Хорошая пропитываемость маслом

Хорошая адгезия к фенол-формальдгидному лаку
и эпоксидному связующему

Класс нагревостойкости: А (105°С)

Толщина, мкм 12 – 250

Плотность, г/см³ 0,7 – 1,3

Форма поставки:

рулоны шириной, макс., мм 3400

ленты шириной, мин., мм 3

Изоляционная бумага выпускается следующих видов:

не каландрированная (применяется для доизоляции отводов)

каландрированная (подходит для изготовления бумажно-бакелитовых цилиндров

термостабилизированная



Таблица 2.2.1-1

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
НАМОТОЧНОЙ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЙ БУМАГИ (KRAFT) [17]**

Свойства	Единицы измерения	Показатели					
		38	50	64	75	100	125
Толщина / допуск	микрон	38 ±10%	50 ±10%	64 ±10%	75 ±10%	100 ±10%	125 ±10%
Плотность / допуск	г/м ²	30 ±10%	40 ±10%	51 ±5%	61 ±5%	76 ±5%	100 ±5%
Кажущаяся плотность допуск	г/см ³	0,8 ±0,05					
Влагопоглощение	%	8 Макс.					
Абсорбция воды MD CD	мм	10 Мин.					
		10 Мин.					
Воздухопроницаемость	м/Па с	0,5-1,0					
Индекс растяжения MD CD	Нм/п	78 Мин.					
		28 Мин.					
Удлинение при растяжении MD CD	%	2,0 Мин.					
		4,0 Мин.					
Индекс разрыва MD CD	мНм ² /г	5 Мин.					
		6 Мин.					
Электрическая прочность на воздухе	кВ/мм	7,0 Мин.					
Зольность	%	1,0 Макс.					
Электропроводность водного экстракта	мСм/м	10 Макс.					
pH водной вытяжки		6,0-8,0					
Стабильность при нагреве, 150°С/24 ч деград.	%	20 Макс.					

Таблица 2.2.1-2

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМОТОЧНОЙ
ТЕРИОСТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЙ БУМАГИ (Т1) [17]**

Свойства	Единицы измерения	Показатели					
		40	49	64	79	124	178
Толщина	микрон	40	49	64	79	124	178
Плотность	г/м ²	31,6	39,2	49,9	63,ю2	101,7	144,2
Кажущаяся плотность	г/см ³	0,77	0,8	0,78	0,8	0,82	0,81
Влажность	%	4,8	5,6	5,4	4,9	4,,9	4,5
Абсорбция воды	мм						
MD		6	8	10	12	16	22
CD		3	5	7	7	9	14
Воздухопроницаемость	м/Па с	1,11	0,53	0,5	0,9	0,71	1,09
Индекс растяжения	Нм/п						
MD		173,0	184,0	180,0	190,0	163,0	168,0
CD		19,0	20,0	20,0	22,0	26,0	26,0
Удлинение при растяжении	%						
MD		1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,1
CD		3,3	4,7	5,1	8,7	7,8	8,8
Индекс разрыва	мНм ² /г						
MD		4,3	4,5	6,4	6,5	8,6	10,3
CD						18,7	22,7
Электрическая прочность на воздухе, минимум	кВ/мм	11,4	10,6	10,2	9,5	8,8	7,6
Зольность	%	0,3	0,3	0,24	0,3	0,3	0,3
Электропроводность водного экстракта	мСм/м	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
pH водной вытяжки		6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9

2.2.2 Изоляционная крепированная бумага [6,7,21]

Назначение:

Создание электрической изоляции силовых и распределительных трансформаторов на деталях с поверхностями неправильной геометрической формы, плотная изолировка которых обычной изоляционной бумагой не представляется возможной. Она обеспечивает надежное сопряжение слоев изоляции при намотке. Используется в высоковольтных трансформаторах в местах с высоким градиентом напряженности электрического поля.

Типичные примеры использования:

- доизолировка высоковольтных отводов обмоток
- изолировка встраиваемых трансформаторов тока
- намотка гибких изоляционных трубок
- изолировка емкостных колец

Основа материала:

Обычная электротехническая крафт-бумага толщиной 0,07 – 0,14 мм, плотностью 0,7- 0,8 г/см³, массой 45 - 100 г/м² на основе волокна чистой 100% небеленой сульфатцеллюлозы. Чаще поставляется бумага плотностью 60/90, 80/120, 100/200 г/см²

Основные характеристики:

Высокая электрическая и механическая прочность

Хорошая гибкость

Хорошая прочность при растяжении

Большое удлинение при разрыве

Совместимость с жидкими диэлектриками

Хорошая пропитываемость маслом

Класс нагревостойкости:	A (105°С)
Толщина, мм	0,29 – 0,55
Плотность, г/см ³	0,33 – 0,44
Относительное удлинение, %	
маш. направление	45 - 187
попер. направление	3 - 5
Впитываемость масла, %	44 - 53

Форма поставки:

рулоны шириной, макс., мм	750 - 1500	Диаметр 540 мм (60 – 120 кг, внутр.диаметр 70 мм)
ленты, шириной, мин., мм	20	Диаметр 135-300 мм (внутр.диаметр 50 мм)

Кроме обычных, стандартных типов поставляются также **специальные виды крепированной бумаги:**

каландрированная

тонкокаландрированная (для обмоточных проводов)

высокой плотности

многослойная (каландрированная или подклеенная)

полупроводящая

растягивающаяся по двум направлениям

дублированная с алюминиевой фольгой



Рис. 2.2.2 Крепированная бумага электроизоляционная не каландрированная, раскроенная в виде лент [21].

Подробные технические данные крепированных бумаг приведены в Таблице 2.2.2. В ней приводятся свойства крепированной бумаги, полученной на основе электроизоляционной бумаги различной толщины при различной степени крепирования.

Таблица 2.2.2 [6]

**ИЗОЛЯЦИОННАЯ КРЕПИРОВАННАЯ
БУМАГА**

с1 K51-10

Тип	Бумага основа	60/90	60/120	60/170	г/м ²
толщина	0,07 – 0,08	0,29	0,35	0,45	мм
плотность	0,7 – 0,8	0,34	0,35	0,42	г/см ³
масса	55 – 65	85 – 95	119 – 126	161 – 178	г/м ²
прочность на разрыв на 15 мм ширины	80 – 110	> 50	> 45	> 45	Н
относительное удлинение: - маш. направление - попер. направление	1,5 – 2,5 3,5 – 4,5	45 – 55 3,0 – 5,0	90 – 110 3,0 – 5,0	153 – 187 3,0 – 5,0	%
зольность	< 0,5	< 1,0	< 1,0	< 1,0	%
электропроводность водной вытяжки	< 4	< 5	< 4	< 4	мСм/м
pH	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	
впитывание масла		51	50	52	%
пробивное напряжение в масле, растяжение 80% (10 слоёв)		25	23	21	кВ/мм
tg δ в воздухе, - при 90°С	< 0,005				
tg δ в масле, - при 20°С - при 90°С	< 0,006	0,0023 0,0073	0,0020 0,0084	0,0018 0,0080	

Приведенные выше величины являются средними результатами для серийно выпускаемой продукции, полученными в лаборатории компании согласно IEC 243, 250 и 554.
Измерение толщины: диаметр измеряемой области 15 мм, при усилии 5,5 Н/см²

Продолжение таблицы 2.2.2 [6]

**ИЗОЛЯЦИОННАЯ КРЕПИРОВАННАЯ
БУМАГА**

с1 K51-11

Тип	Бумага основа	67/100	67/130	г/м ²
толщина	0,08 – 0,09	0,39	0,40	мм
плотность	0,7 – 0,8	0,31	0,39	г/см ³
масса	62 – 72	95 – 105	124 – 136	г/м ²
прочность на разрыв на 15 мм ширины	100 – 130	> 50	> 50	Н
относительное удлинение:				
- маш. направление	1,5 – 2,5	45 – 55	90 – 110	%
- попер. направление	3,5 – 4,5	3,0 – 5,0	3,0 – 5,0	
зольность	< 0,5	< 1,0	< 1,0	%
электропроводность водной вытяжки	< 4	< 4	< 4	мСм/м
pH	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	
впитывание масла		51	50	%
пробивное напряжение в масле, растяжение 80% (10 слоёв)		25	23	кВ/мм
tg δ в воздухе				
- при 90°С	< 0,003			
tg δ в масле				
- при 20°С		0,0023	0,0020	
- при 90°С	< 0,004	0,0073	0,0084	

Вышеуказанные величины являются средними результатами для серийно выпускаемой продукции, полученными в лаборатории компании согласно IEC 243, 250 и 554.
Измерение толщины: диаметр измеряемой области 15 мм, при усилии 5,5 Н/см²

Продолжение таблицы 2.2.2 [6]

**ИЗОЛЯЦИОННАЯ КРЕПИРОВАННАЯ
БУМАГА**

с1 K51-12

Тип	Бумага основа	80/120	80/160	г/м ²
толщина	0,086 – 0,100	0,36	0,47	мм
плотность	0,7 – 0,8	0,38	0,44	г/см ³
масса	74 – 86	114 – 126	152 – 168	г/м ²
прочность на разрыв на 15 мм ширины	110 – 140	> 60	> 50	Н
относительное удлинение:				
- маш. направление	1,5 – 2,5	45 – 55	90 – 110	%
- попер. направление	3,5 – 4,5	3,0 – 5,0	3,0 – 5,0	%
зольность	< 0,5	< 1,0	< 1,0	%
электропроводность водной вытяжки	< 4	< 5	< 5	мСм/м
pH	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	
впитывание масла		49	44	%
пробивное напряжение в масле, растяжение 80% (10 слоёв)		26	24	кВ/мм
tg δ в воздухе				
- при 90°С	< 0,003			
tg δ в масле				
- при 20°С		0,0020	0,0024	
- при 90°С	< 0,004	0,0095	0,0092	

Вышеуказанные величины являются средними результатами для серийно выпускаемой продукции, полученными в лаборатории компании согласно IEC 243, 250 и 554.
Измерение толщины: диаметр измеряемой области 15 мм, при усилии 5,5 Н/см²

Окончание таблицы 2.2.2 [6]

**ИЗОЛЯЦИОННАЯ КРЕПИРОВАННАЯ
БУМАГА**

с1 K51-13

Тип	Бумага основа	100/150	100/200	г/м ²
толщина	0,12 – 0,14	0,46	0,55	мм
плотность	0,7 – 0,8	0,38	0,43	г/см ³
масса	90 – 110	144 – 156	190 – 210	г/м ²
прочность на разрыв на 15 мм ширины	130 – 170	> 75	> 75	Н
относительное удлинение:				
- маш. направление	1,5 – 2,5	45 – 55	90 – 110	%
- попер. направление	3,5 – 4,5	3,0 – 5,0	3,0 – 5,0	%
зольность	< 0,5	< 1,0	< 1,0	%
электропроводность водной вытяжки	< 4	< 4	< 4	мСм/м
pH	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	
впитывание масла		52	53	%
пробивное напряжение в масле, растяжение 80% (10 слоёв)		24	22	кВ/мм
tg δ в воздухе				
- при 90°С	< 0,004			
tg δ в масле				
- при 20°С		0,0021	0,0021	
- при 90°С	< 0,005	0,0051	0,0045	

Вышеуказанные величины являются средними результатами для серийно выпускаемой продукции, полученными в лаборатории компании согласно IEC 243, 250 и 554.
Измерение толщины: диаметр измеряемой области 15 мм, при усилии 5,5 Н/см²

2.3 Древесно-слоистый пластик электроизоляционный [12-16]

Плиты, балки, кольцевые заготовки
МЕК 61061

Назначение:

Изготовление компонентов электрической изоляции силовых и распределительных трансформаторов, подверженных комплексному воздействию значительных электрических механических и термических нагрузок, элементов конструкции, отвечающих за динамическую устойчивость обмоток, магнитопроводов и активной части трансформаторов:

- Прессующие (нажимные) кольца
- Прессующие платы пофазной стяжки обмоток силовых трансформаторов
- Прессующие ярмовые балки силовых и распределительных трансформаторов.
- Ступенчатые элементы стяжки магнитопроводов
- Прессующие сегменты
- Опорные кольца и платы
- Сердечники емкостных колец
- Рейки для сборки опорно-изоляционных конструкций для раскрепления отводов
- Изоляционные резьбовые шпильки и цилиндрические заготовки
- Изоляционные гайки
- Полные комплекты изоляции для локомотивных трансформаторов

Основа материала:

Шпон красного бука, стопа которого склеена термореактивным связующим при повышенной температуре под давлением

Особенности производства:

Заготовки букowego шпона необходимых форматов и определенных толщин (чаще 1-4 мм) _ покрываются синтетическим термореактивным связующим и укладываются в определенном порядке в стопу заданного габарита. Укладка листов шпона может производиться тремя способами:

- древесные волокна всех слоев шпона параллельны друг другу
- древесные волокна слоев шпона расположены перпендикулярны друг другу крест-накрест
- древесные волокна шпона расположены по кольцу тангенциально.

При перекрестном расположении шпона слои могут чередоваться через один или в какой-то другой комбинации, например, три слоя параллельно и один слой перпендикулярно. Может быть и различное сочетание слоев шпона по толщине.

Подготовленная стопа помещается между обогреваемыми плитами гидравлического пресса, где материал выдерживается под высоким давлением и при высокой температуре.

Древесно-слоистый пластик производится в виде плит, заготовок в виде балок и колец.

Основные характеристики ДСП:

Высокая электрическая прочность

Высокая механическая прочность

Высокое маслопоглощение (высокоорганизованная система капилляров)

Малая плотность

Высокая формоустойчивость при температурах эксплуатации

Класс нагревостойкости:	A (105°C)
Плотность, г/см ³ :	0,75-1,05; 1,10-1,25; 1,30-1,40
Размер плиты, макс., мм	4200 x 3400 (подлежит раскрою на меньшие форматы)
Наружный диаметр кольца, макс., мм	3400
Длина балки, макс., мм	5500
Толщина, макс, мм	400
Маслопоглощение, %	7 - 35



Рис. 2.3 Электроизоляционный древесно-слоистый пластик на основе шпона красного бука, преимущество которого заключается в высокоорганизованной структуре параллельных капилляров, проходящих через всю плиту.

Физико-механические, электрофизические и теплофизические свойства древесно-слоистого пластика [12]

Таблица 2.3

Тип	E 885-8							E 825-8							E 730-1																																				
	KR 20212							KR 20214							KR 20222							KR 20224							KR 20244							KR 20244															
DIN 7707, no.:		Direction of laminations		Метод испыт.		Ед. измер.		1,25		200		56		42		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707	
								0,85		1,25		56		42		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707	
Удельный вес				II ⊥		g/cm ³		150		200		56		42		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707	
Прочность на изгиб				I ⊥		N/mm ²		46		54		42		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Ударная вязкость				II ⊥		KJ/m ²		33		33		28		23		80		200		140		14		56		13 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707	
Ударная вязкость				II ⊥		KJ/m ²		33		33		28		23		80		200		140		14		56		13 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707	
Ударная вязкость обр. с надрезом II				II ⊥		KJ/m ²		33		33		28		23		80		200		140		14		56		13 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707	
Прочность на растяжение				I ⊥		N/mm ²		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Прочность на сжатие				I ⊥		N/mm ²		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
2 % сжимающее напряжение				I ⊥		N/mm ²		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Твёрдость вдавливания шарика				I ⊥		N/mm ²		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Модуль эластичности при изгибе				I ⊥		N/mm ²		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Поверхностное сопротивление после обработки				I ⊥		Ω min.		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Спец. объёмное сопротивление после предварительн. обработки				I ⊥		Ω см min		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Прочность на пробой при 90°C в направлении слоёв				I ⊥		kV 25 mm		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Фактор диэлектр. потерь при 50 Гц 20°C				I ⊥		tan δ		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Устойчивость к скользящим разрядам				I ⊥		Степень		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Водопоглощение				I ⊥		%		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Маслопоглощение				I ⊥		%		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Кoeffиц. линейного расширения				I ⊥		mm x 10 ⁻⁶ mm°C		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Теплопроводность				I ⊥		10 ⁻³ W/cm °C		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Темпер. граница при постоянной нагрузке				I ⊥		°C		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			
Температурная граница при обработке				I ⊥		°C		120		200		54		36		120		90		9		21		18 000		10 ⁵		10 ¹²		10 ⁵		45		0,02		KC 500		-		25		-		DIN 52 612		DIN 7707		DIN 7707			



3. Электроизоляционные компоненты

3.1 Дистанцирующие прокладки [1-3, 6-11]

МЭК 641-1 Тип В3.1 или МЭК 763-2 Тип LB3.1

Назначение:

Изоляционные дистанцирующие прокладки предназначены для создания горизонтальных каналов масляного охлаждения обмоток силовых трансформаторов между отдельными витками обмоток.

Дистанцирующие прокладки устанавливаются в радиальном направлении к главному цилиндру параллельно основанию цилиндра между витками или катушками обмоток. Каждая колонка дистанцирующих прокладок фиксируется, обычно, изнутри и снаружи прошивными рейками, профиль которых входит в зацепление с выборкой соответствующего профиля каждой прокладки.

Материал:

Горячепрессованный малоусадочный картон

Способ производства:

Механическая обработка фрезерованием.

Прокладки изготавливаются из предварительно калиброванных реек необходимой ширины с обработанными под радиус ребрами.

Тонкие прокладки могут вырубаться из подготовленных реек на прессах.

Обеспечиваются калиброванные высокоточные размеры прокладок.

Конструкция прокладок:

Дистанцирующие прокладки изготавливаются необходимой длины, толщины и профиля. Они могут иметь с одной или с обеих торцов выборки прямоугольного профиля, трапециидального профиля (ласточкин хвост) или Т-образного профиля.

Технические характеристики:

100% сульфат целлюлоза

Горячепрессованный картон, волокна в машинном направлении

Естественный цвет

Высокая твердость и упругость

Высокая электрическая прочность

Высокая механическая прочность

Малая усадка

Гладкая поверхность, отсутствие на поверхности волокон и нарушенных структур

Высокая чистота состава

Совместимость с жидкими диэлектриками

Класс нагревостойкости A (105°C)

Длина, мм 30 - 150

Ширина, мм 25 - 60

Толщина, мм 1 – 12 (при толщине более 8 мм- из блочного картона)

Новизна и преимущества:

- Удален поверхностный «рыхлый» слой
 - Ребра отшлифованы под радиус
 - Толщина равна размеру канала охлаждения (например, не 5 прокладок по 1 мм, а одна 5 мм)
 - Гладкость поверхностей, нет распушения
 - Пропитка трансформаторным маслом
- еще меньшая усадка и нет распрессовки обмоток
 - большее соответствие технике высоких напряжений
 - обеспечение точности изготовления обмотки, меньшая усадка, сокращение времени намотки, улучшение качества обмотки
 - сохранение высокой чистоты масла и высокой электрической прочности
 - предотвращение набора влаги и роста высоты столба прокладок и всей обмотки, облегчение зашихтовки верхнего ярма магнитопровода активной части

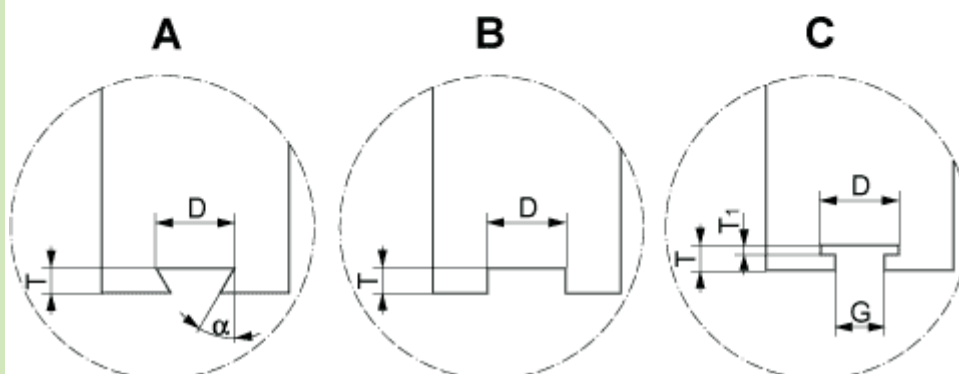
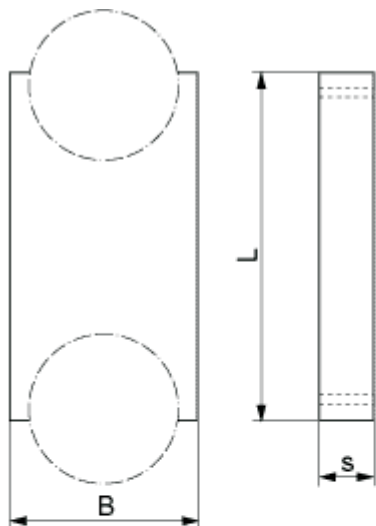


Рис. 3.1 Плоские дистанцирующие прокладки из горячепрессованного картона [2]

Дистанцирующие прокладки плоские [2]

МЭК 641-1 Тип В 3.1 или МЭК 763-2 Тип LB 3.1

РАЗМЕРЫ



L	B	s	D	T	T1	α
30 - 150 мм	25 - 60 мм	1 - 12 мм	16 - 25 мм	любые мм	любые мм	30 °

Допуск

L	$\pm 0,3$ мм
B	$\pm 0,3$ мм
α	± 1 мм
D	+0,1 / +0,4 мм
E	-
G	-
T	+0,4 / -0 мм
s	$\pm 0,08$ мм

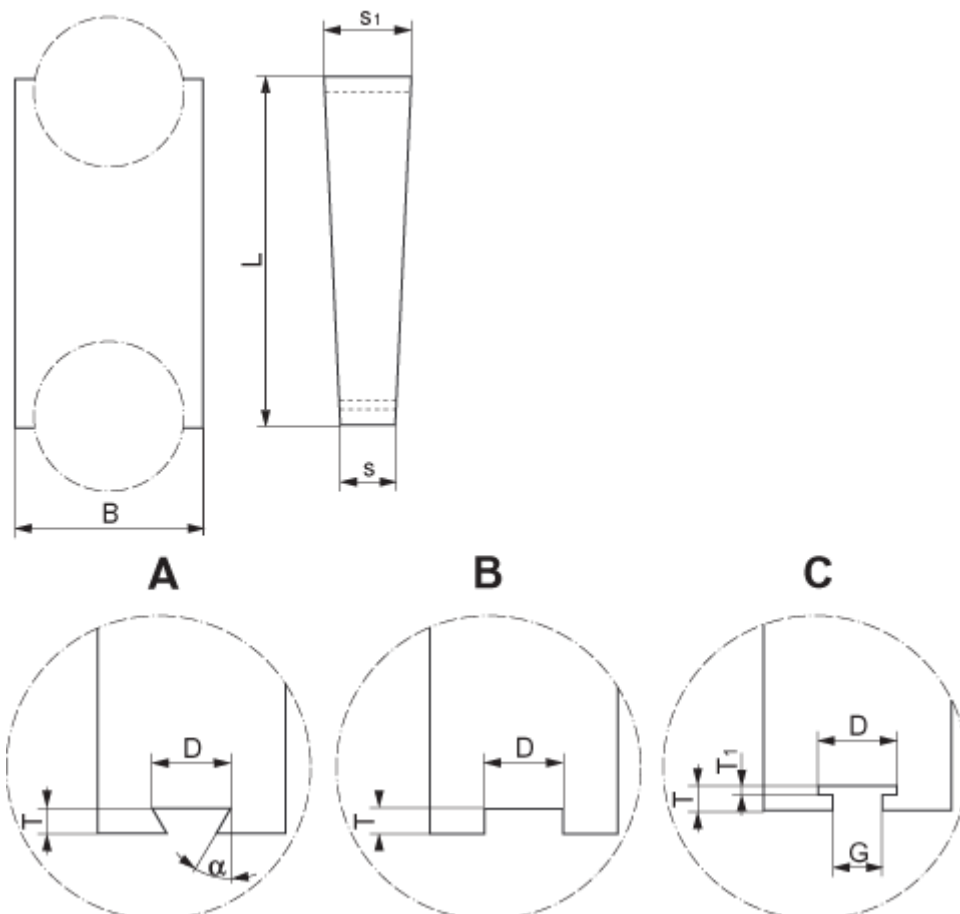
Начиная с толщины 8 мм прокладки изготавливаются из блочного картонат.

При толщине 1 - 3 мм паз выполняется методом штамповки или фрезеровкой, при толщине >3 мм паз выполняется фрезеровкой.

Другие размеры - по запросу.

Дистанцирующие прокладки клинообразные [2] МЭК 641-1 Тип В 3.1 или МЭК763-2 Тип LB 3.1

РАЗМЕРЫ



L	B	s	D	T	T1	α
30 - 150 мм	25 - 60 мм	1 - 12 мм	16 - 25 мм	Любой мм	Любой мм	30 °

L	$\pm 0,3$ мм
B	$\pm 0,3$ мм
α	± 1 мм
D	+0,1 / +0,4 мм
E	-
G	-
T	+0,4 / -0 мм
s	$\pm 0,3$ мм

Начиная с толщины 8 мм прокладки изготавливаются из блочного картонат.

При толщине 1 - 3 мм паз выполняется методом штамповки или фрезеровкой, при толщине >3 мм паз выполняется фрезеровкой.

Другие размеры - по запросу.

3.2 Дистанцирующие рейки [1-3, 6-11]

МЭК 641-1 Тип В3.1 или МЭК 763-2 Тип LB3.1

Назначение:

Изоляционные дистанцирующие (прошивные) рейки предназначены для создания вертикальных каналов масляного охлаждения обмоток силовых трансформаторов и для фиксации на них прокладок, оформляющих горизонтальные каналы охлаждения между отдельными витками обмоток.

Дистанцирующие рейки устанавливаются на главный намоточный изоляционный цилиндр, и сверху последнего слоя обмоточного провода. Иногда между отдельными слоями обмотки. Рейки устанавливаются вдоль образующих цилиндров с определенным шагом. Обмоточный провод наматывается непосредственно на дистанцирующие рейки. Канал охлаждения образуется между двумя соседними рейками.

Материал:

Горячепрессованный малоусадочный картон

Способ производства:

Механическая обработка на высокопроизводительной производственной линии: раскрой реек из листа и их механическая обработка по плоскостям и ребрам. Обеспечиваются калиброванные высокоточные размеры

Конструкция реек:

Дистанцирующие рейки изготавливаются необходимой длины, толщины и профиля. Они могут быть прямоугольного сечения, трапецидального сечения, Т-образного сечения и гибридного сечения (прямоугольник-трапеция).

Рейки прямоугольного сечения могут быть с радиусами и без радиусов.

Технические характеристики:

100% сульфат целлюлоза

Горячепрессованный картон, волокна в машинном направлении

Естественный цвет

Высокая твердость и упругость

Высокая электрическая прочность

Высокая механическая прочность

Малая усадка

Гладкая поверхность, отсутствие на поверхности волокон и нарушенных структур

Высокая чистота состава

Совместимость с жидкими диэлектриками

Класс нагревостойкости А (105°C)

Длина стандартная, мм 4100 и 2050

Толщина, мм 3 – 20 (при толщине более 8 мм – из блочного картона)

Ширина, мм 10 - 70

Для прямоугольного сечения:

толщина, мм 1 - 100

ширина, мм 5 - 200

Новизна и преимущества:

- Удален поверхностный «рыхлый» слой
- Гладкость поверхностей, нет распухания
- Пропитка трансформаторным маслом
- обеспечивается стабильность радиальных размеров
- сохранение высокой чистоты масла и его высокой электрической прочности
- предотвращение набора влаги и обеспечение стабильности радиального размера

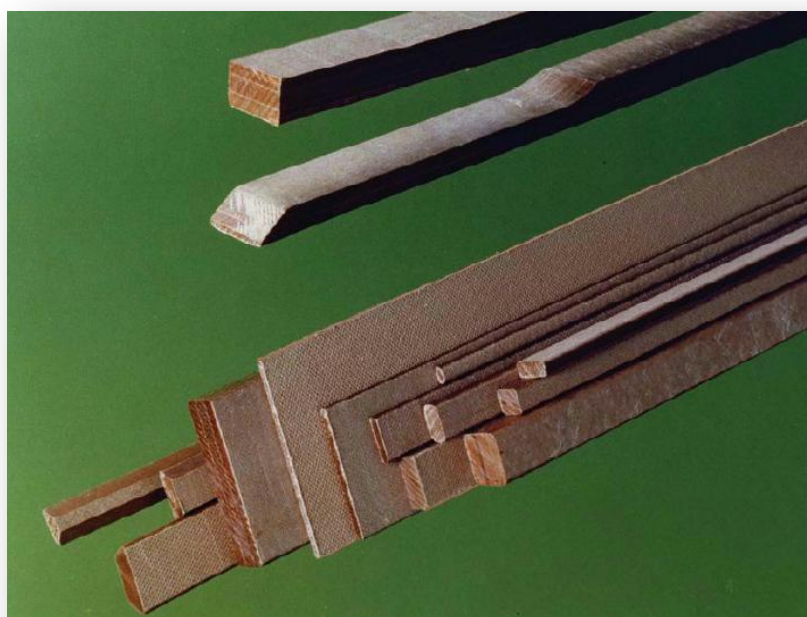


Рис.3.2-1 Дистанцирующие, прошивные и пр. рейки из горячепрессованного картона [2]

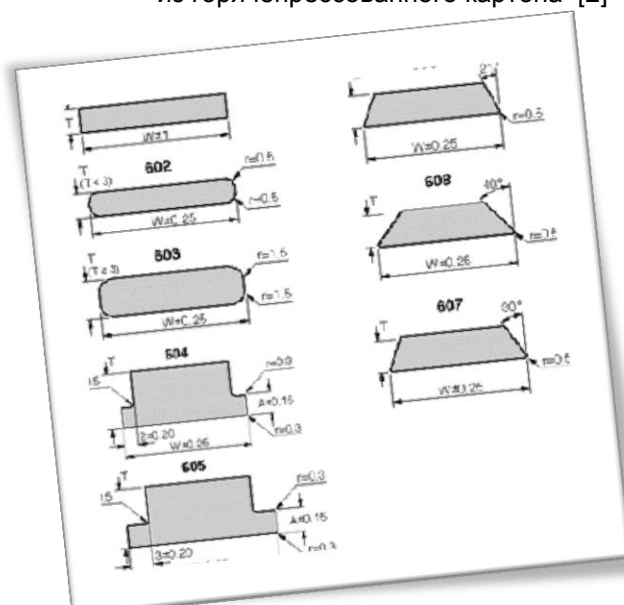
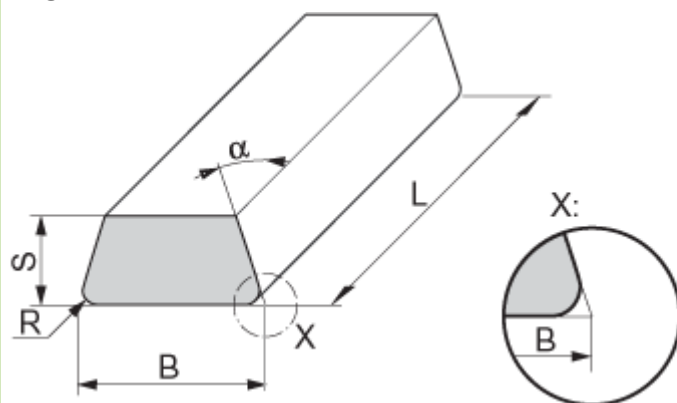


Рис.3.2-2 Сечения дистанцирующих и прошивных реек [19]

Дистанцирующие рейки трапецеидального сечения [2] МЭК 641-1 Тип В 3.1 или МЭК 763-2 Тип LB 3.1

РАЗМЕРЫ



Допуск

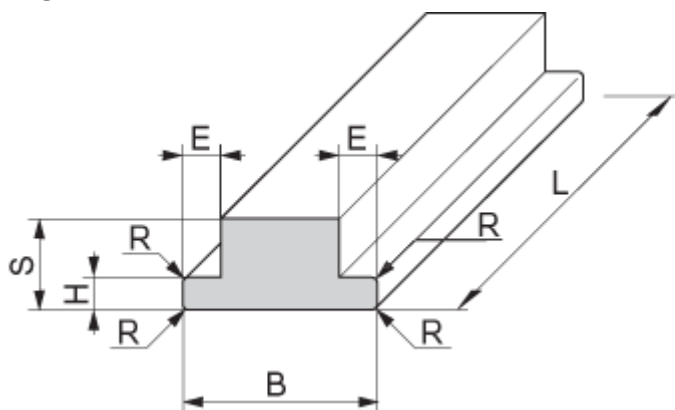
B	10 - 70 мм;	-0,40 / -0,70 мм
L	Макс. 4100 мм;	±100 мм
R	1,5 мм;	±0,50 мм
α	15 - 60°;	±1 °
s	$\geq 3 \leq 5$ мм;	±0,10 мм
s	$> 5 \leq 12$ мм;	±0,20 мм
s	$> 12 \leq 20$ мм;	±0,50 мм

При толщине ≥ 8 мм рейки изготавливаются из блочного картона.
Стандартная длина L=2050 и 4100 мм, другие длины – по запросу.

Дистанцирующие рейки Т-образного сечения [2]

МЭК 641-1 Тип В 3.1 или МЭК 763-2 Тип LB 3.1

РАЗМЕРЫ



Допуск

B	10 - 70 мм;	-0,30 / +0 мм
L	макс. 4100 мм;	±100 мм
R	1,5 мм;	±0,50 мм
H	Мин. 1 мм;	±0,10 мм
E	2 - 5 мм;	+0,20 / -0 мм
s	≥4 ≤5 мм;	±0,10
s	>5 ≤12 мм;	±0,20
s	>12 ≤20 мм;	±0,50

При толщине ≥ 8 мм рейки изготавливаются из блочного картона.
Стандартная длина L=2050 и 4100 мм, другие длины – по запросу

3.3 Угловые шайбы и секторы прямые и обратные [1-3,6-11] МЭК 641.1

Назначение:

Угловые шайбы предназначены для создания усиленной барьерной концевой электрической изоляции обмоток в местах выхода электромагнитного поля наибольшей напряженности. Устанавливаются при сборке активной части трансформатора внизу и вверху обмотки с внутренней стороны обмотки (прямая угловая шайба) или с внешней стороны обмотки (обратная угловая шайба). Предотвращают пробой масляно-бумажной изоляции с обмотки на магнитопровод, на металлические прессующие кольца и на соседние обмотки. Являются одними из ответственных компонентов изоляции трансформатора

Материал:

Чистая сульфатцеллюлоза. В зависимости от типа трансформатора используются различные высококачественные сорта трансформаторного картона, папка (влажная бумажная пластина целлюлозы, снятая с форматного вала бумагоделательной машины) и крепированная бумага.

Способ производства:

Угловые шайбы в зависимости от геометрии и назначения производятся различными способами: машинной формовкой из формуемого картона, ручной формовкой из папки, механической вытяжкой картона, многократным сложением, подклейкой и фальцовкой крепированной бумаги (рулонные «гибкие угловые шайбы» для распределительных трансформаторов).

Конструкция угловых шайб:

Угловые шайбы изготавливаются согласно чертежей, согласованных с изготовителем. Бывают прямые и обратные угловые шайбы, замкнутые и открытые. Часто угловые шайбы изготавливаются в виде отдельных секторов с перекрывающимися обработанными «на ус» концами. Диаметр, высота цилиндрической части, ширина полки, а также толщина угловой шайбы могут быть различными. Наиболее ответственной зоной угловой шайбы является радиус между цилиндром и полкой. В идеале он должен соответствовать расчетной конфигурации силовых линий электромагнитного поля рассеяния, выходящего из крайних витков обмотки. Иногда конструкция одного из секторов угловой шайбы предусматривает наличие сопряженной изоляционной трубы для вывода через нее отвода обмотки. Высококачественные угловые шайбы хорошо держат форму при сборке трансформатора и в процессе его эксплуатации.

Технические характеристики:

100% сульфат целлюлоза
Высокая чистота материала
Естественный цвет
Высокая твердость и упругость
Высокая электрическая прочность
Высокая механическая прочность
Малая усадка
Совместимость с жидкими диэлектриками

Высокое маслопоглощение

Класс нагревостойкости	A (105°C)
Толщина, мм	2 – 6
Диаметр нар. и вн. макс., мм	3100
Высота, макс, мм	200

Размеры прямых угловых шайб из сегментов, форма Н [2]
МЭК 641-1 Тип В 4.1 - горячепрессованные

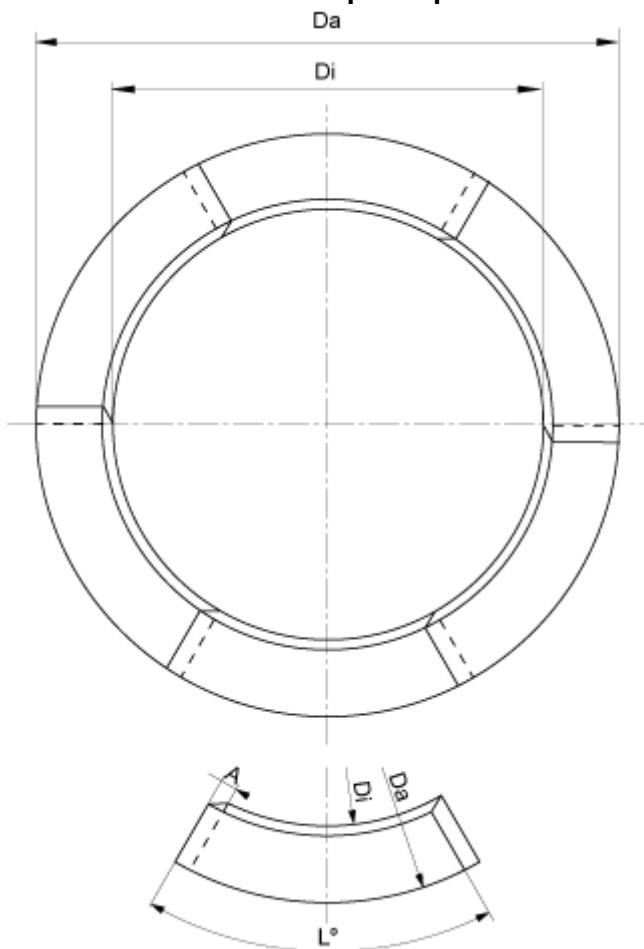


Fig. H₀

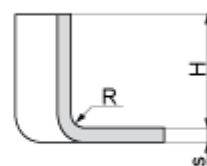


Fig. H₁

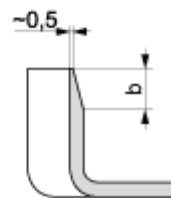
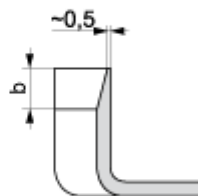


Fig. H₂



D_a	500 - 2600 мм
D_i	500 - 2600 мм
H	max. 200 мм
s	1 – 6 мм
b	max. 120 мм
R	1,6 - 30 мм
A	20 x s + 50 мм
B	max. 200 мм
L°	Standard = 60 °

Допустимое отклонение

H	±3,0 мм
B	±3,0 мм
A	±20,0 мм
b	+10,0 / -5,0 мм
L	+10,0 / -5,0 мм
$D_a < 650$ мм	±5,0 мм
$D_a 650 - 1250$ мм	±10,0 мм
$D_a > 1250$ мм	±15,0 мм
$R \leq 15,0$ мм	±2,0 мм
$R > 15,0$ мм	±5,0 мм
$s \leq 2,0$ мм	-0,3 / +0,5 мм
$s > 2,0$ мм	-0,3 / +1,0 мм

Другие размеры – по Запросу.

Размеры обратных угловых шайб из сегментов, форма I [2]

МЭК 641-1 Тип В 4.1 – горячепрессованные

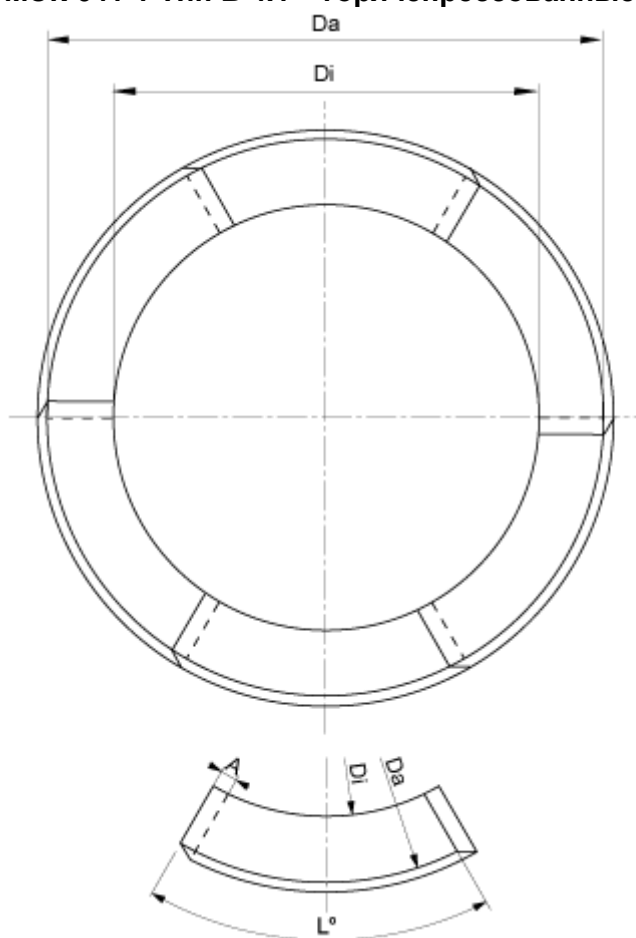


Fig. I₀

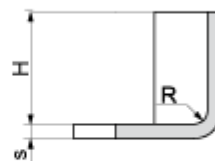


Fig. I₁

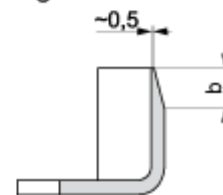
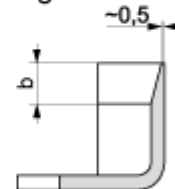


Fig. I₂



Da	500 - 2600 мм
Di	500 - 2600 мм
H	макс. 200 мм
s	1 - 6 мм
b	макс. 120 мм
R	1,6 - 30 мм
A	20 x s + 50 мм
B	макс. 200 мм
L°	макс. 60°

Допустимые отклонения

H	±3,0 мм
B	±3,0 мм
A	±20,0 мм
b	+10,0 / -5,0 мм
L	+10,0 / -5,0 мм
Da < 650 мм	±5,0 мм
Da 650 - 1250 мм	±10,0 мм
Da > 1250 мм	±15,0 мм
R ≤ 15,0 мм	±2,0 мм
R > 15,0 мм	±5,0 мм
s ≤ 2,0 мм	-0,3 / +0,5 мм
s > 2,0 мм	-0,3 / +1,0 мм

Другие размеры – по Запросу

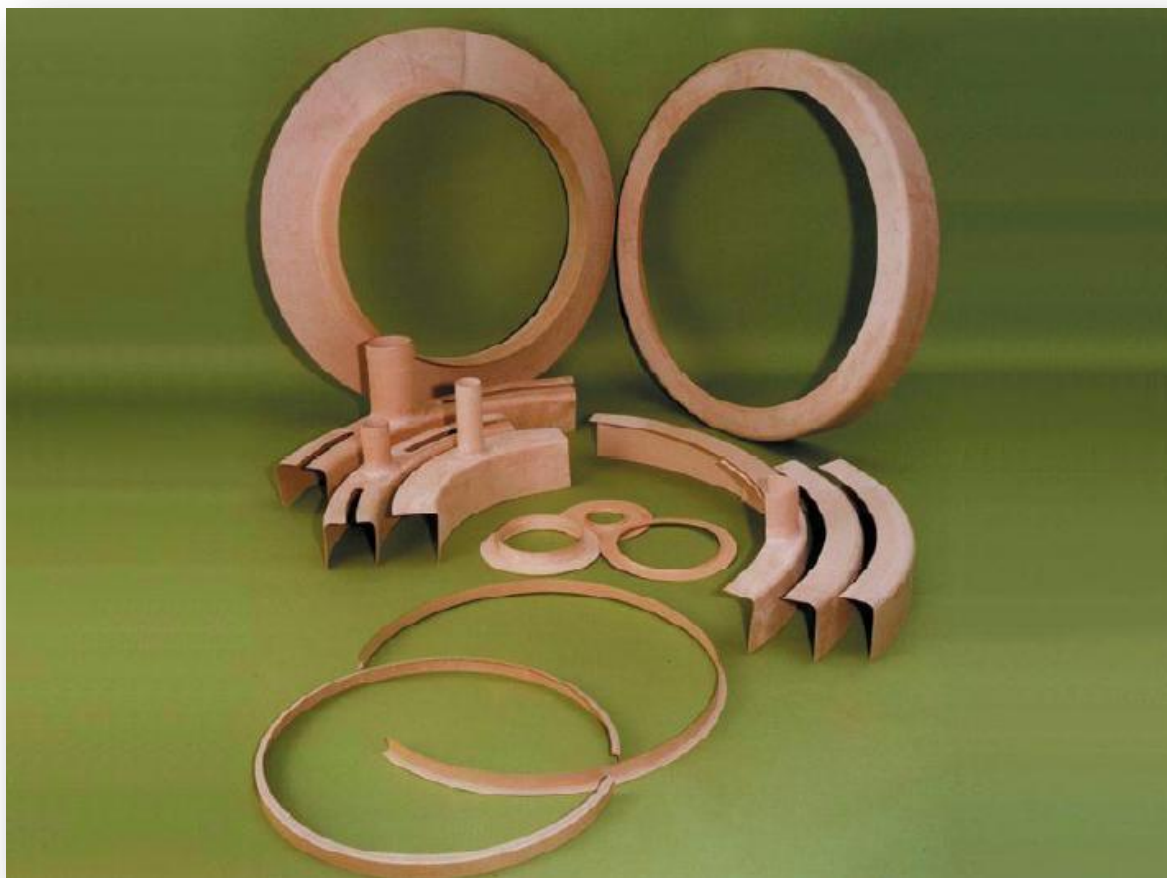


Рис. 3.3 Угловые шайбы прямые и обратные, цельноформованные и из секторов [2]

3.4 Прессующие кольца и панели [1-3,6-9,11-16] МЭК 641-1 Тип В 3.1 или МЭК 61061

Назначение:

Изоляционные прессующие (нажимные) кольца и панели предназначены для осевой прессовки обмоток с целью создания и поддержания в работающем трансформаторе расчетного усилия осевого сжатия обмоток для обеспечения их динамической устойчивости и обеспечения надежной работы трансформатора. Использование изоляционных прессующих колец позволяет уменьшить шихтовочный зазор магнитопровода и уменьшить массу и высоту трансформатора.

В трансформаторах с пофазной стяжкой обмоток прессующие панели позволяют произвести индивидуальную прессовку обмоток каждой фазы и насадку предварительно опрессованных фаз на стержни магнитопровода. При этом нет необходимости в шихтовочном зазоре, и на магнитопровод не передается никакого дополнительного давления прессования. Это позволяет получить трансформатор с лучшими массово-габаритными характеристиками и со сниженными собственными потерями в стали.

Материал:

Блочный ламинированный горячепрессованный малоусадочный картон, отдельные листы которого склеены сложноэфирным связующим или прессованный древесно-слоистый пластик на основе шпона красного бука

Способ производства:

Механическая обработка на автоматизированных обрабатывающих центрах с числовым программным управлением.

Конструкция:

Прессующие кольца и панели изготавливаются по чертежам Заказчика, согласованным с изготовителем. Для обеспечения лучших условий для сушки и пропитки картонных колец и панелей (большой толщины и ширины) по площади изделия часто выполняются технологические отверстия и пазы.

Технические характеристики:

100% сульфат целлюлоза или высококачественные древесные волокна красного бука

Горячепрессованный картон с компенсированными направлениями волокон или буковый ДСП

Высокая твердость и упругость

Высокая электрическая прочность

Высокая механическая прочность

Высокая формоустойчивость

Малая усадка и деформация при сжатии

Гладкая поверхность, отсутствие на поверхности волокон и нарушенных структур

Высокая чистота состава

Совместимость с жидкими диэлектриками

Класс нагревостойкости

A (105°C)

Габаритные размеры, макс.

колец	
диаметр, мм	3000
высота, мм	180
площадь., м ²	6
панелей	
длина, мм	3000
ширина, мм	3000
высота, мм	180



Рис. 3.4-1 Прессующее кольцо из букового древесно-слоистого пластика тангенциальной структуры [13]



Рис. 3.4-2 Прессующие (нажимные) кольца из блочного картона [10]

3.5 Бумажно-бакелитовые цилиндры

(МЭК 61212-3-1: ГОСТ 6726-88, ТУ 16-538-016-75)

Назначение:

Электроизоляционные бумажно-бакелитовые цилиндры предназначены для создания электрической изоляции обмоток. Цилиндры служат главной опорной изоляцией, на которую наматывается обмоточный провод и на которой удерживается обмотка. Цилиндры в трансформаторах участвуют в создании барьерной межобмоточной изоляции и электрической изоляции обмоток от заземленного магнитопровода.

Материал:

Намоточная электроизоляционная бумага (100% сульфатцеллюлоза) и фенол-формальдегидное связующее.

Способ производства:

Электроизоляционной бумаги, проходя через лак-машину при перемотке рулона покрывается с одной стороны сплошным слоем спиртового раствора фенол-формальдегидных олигомеров, которые здесь же подсушиваются и переходят в стадию отверждения «В».

Лакированная изоляционная бумага наматывается на полированную оправку необходимого диаметра до достижения заданного наружного диаметра цилиндра. Отверждение связующего и склейка отдельных витков бумаги в объеме цилиндра производится на оправке в печи или во время намотки под воздействием источников ИК-излучения большой интенсивности.

Отвержденный цилиндр на оправке устанавливается на кабестан, где цилиндр освобождается от оправки. Обрезка торцов цилиндра в заданный размер является заключительной механической операцией. После контроля цилиндр поступает на упаковку.

Технические характеристики:

Хорошая электрическая прочность

Высокая механическая прочность

Предназначен для эксплуатации в трансформаторном масле или на воздухе

Цвет: светло- или темно-коричневый

Класс нагревостойкости 105°C или 120°C

Рабочий диапазон температур в масле: -60°C... +120°C

Плотность, г/см³ 1,05-1,15

Толщина, мм Согласно чертежу Заказчика

Диаметр, мм Согласно чертежу Заказчика

Высота, мм Согласно чертежу Заказчика



Рис. 3.5 Бумажно-бакелитовые цилиндры. Находят применение для изготовления обмоток поврежденных силовых трансформаторов прежнего дизайна

3.6 Цилиндры электроизоляционные из картона [2,3,6-10] МЭК 641-1 Тип В 3.1

Назначение:

Электроизоляционные цилиндры предназначены для создания электрической изоляции обмоток трансформатора. Цилиндры служат главной опорной изоляцией, на которую наматывается и на которой удерживается обмоточный провод. Цилиндры в трансформаторах участвуют в создании масляно-бумажной барьерной межобмоточной электрической изоляции, а также изоляции обмоток от заземленного магнитопровода.

В конструкциях трансформаторов с бумажно-масляной изоляцией цилиндры заполняют собой изоляционные промежутки между отдельными обмотками. Применение электроизоляционных цилиндров позволяет уменьшать электроизоляционные промежутки и создавать более компактные конструкции.

Материал:

Горячепрессованный малоусадочный картон высокой плотности из 100% сульфат-целлюлозы.

Способ производства:

Раскрой развертки по размеру, обработка стыкующихся (перекрывающихся) поверхностей «на ус», увлажнение заготовки, кондиционирование, подсушка, вальцевание, сушка в заневоленном состоянии, склейка цилиндра по перекрывающимся поверхностям вдоль образующей, в консольном прессе при повышенной температуре, торцовка с двух сторон под необходимый размер, пропитка маслом для предотвращения увлажнения и для стабилизации размеров (если это предусмотрено), герметичная упаковка.

Конструкция:

Электроизоляционные цилиндры изготавливаются в соответствии с чертежом Заказчика. Они могут быть замкнутыми, разомкнутыми, образующими щелевой зазор или состоящими из секторов.

Они могут изготавливаться с перекрытием или без перекрытия, с подготовленными «на ус» или подготовленными для стыковки участками. Цилиндры могут иметь нормальную обработку торцов или их обработку под наружный или внутренний конус для последующей стыковки с угловыми шайбами по их ответным коническим поверхностям.

Цилиндры могут поставляться в различной степени готовности:

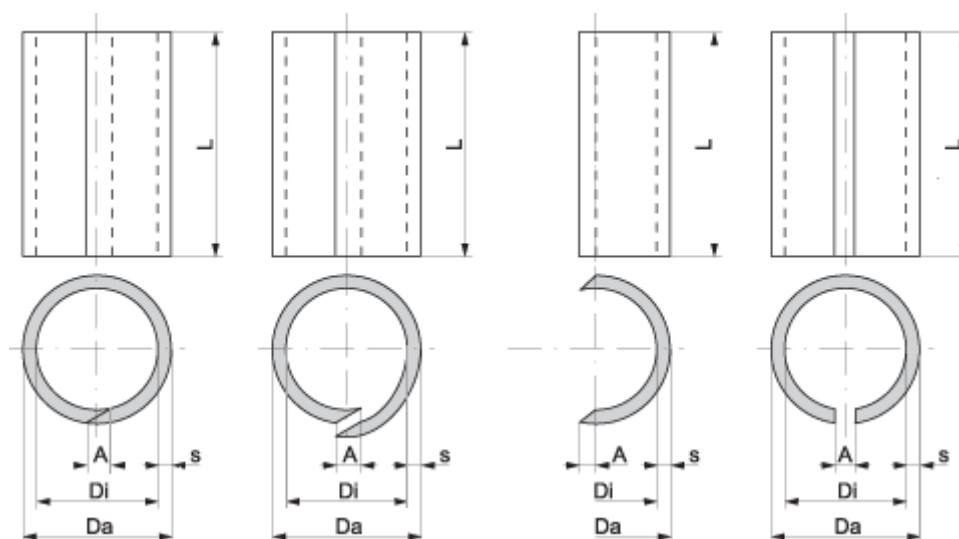
- форматы (развертки) со всеми обработанными кромками
- вальцованные цилиндры в форме, удобной для транспортировки
- склеенные цилиндры,
- цилиндры, стабилизированные трансформаторным маслом
- цилиндры с наклеенными рейками.

Технические характеристики:

100% сульфат-целлюлоза
Высокая чистота материала
Естественный цвет
Высокая твердость и упругость

Высокая электрическая прочность
 Малая усадка
 Совместимость с жидкими диэлектриками
 Высокое маслопоглощение
 Класс нагревостойкости: A (105°C)
 Толщина, мм 1 - 8
 Диаметр, мм 150 – 2500 и более
 Высота, макс., мм 3000

Размеры цилиндров из электрокартона, форма 0 [2]



s	Di	L	A
1 мм	≥150 до ≤500 мм	макс. 1000 мм	70 мм
1 мм	>500 до ≤2500 мм	макс. 3000 мм	70 мм
2 мм	≥150 до ≤500 мм	макс. 1000 мм	90 мм
2 мм	>500 до ≤2500 мм	макс. 3000 мм	90 мм
3 мм	≥250 до ≤500 мм	макс. 1000 мм	110 мм
3 мм	>500 до ≤2500 мм	макс. 3000 мм	110 мм
4 мм	≥300 до ≤500 мм	макс. 1000 мм	130 мм
4 мм	>500 до ≤2500 мм	макс. 3000 мм	130 мм
5 мм	≥350 до ≤500 мм	макс. 1000 мм	150 мм
5 мм	>500 до ≤2500 мм	макс. 3000 мм	150 мм
6 мм	>600 до ≤2500 мм	макс. 3000 мм	170 мм
7 мм	>700 до ≤2500 мм	макс. 3000 мм	170 мм
8 мм	>800 до ≤2500 мм	макс. 3000 мм	170 мм

	Допустимые отклонения после сушки
s	$\pm 10 \%$; Область перекрытия +1,0 мм / -0,5 мм
L	+ 2,0 / - 4,0 мм
$D_i \leq 1000$ мм	$\pm 1,5$ мм
$D_i > 1000 - 2000$ мм	$\pm 2,0$ мм
$D_i > 2000$ мм	$\pm 2,5$ мм
A	+10 мм / -5 мм

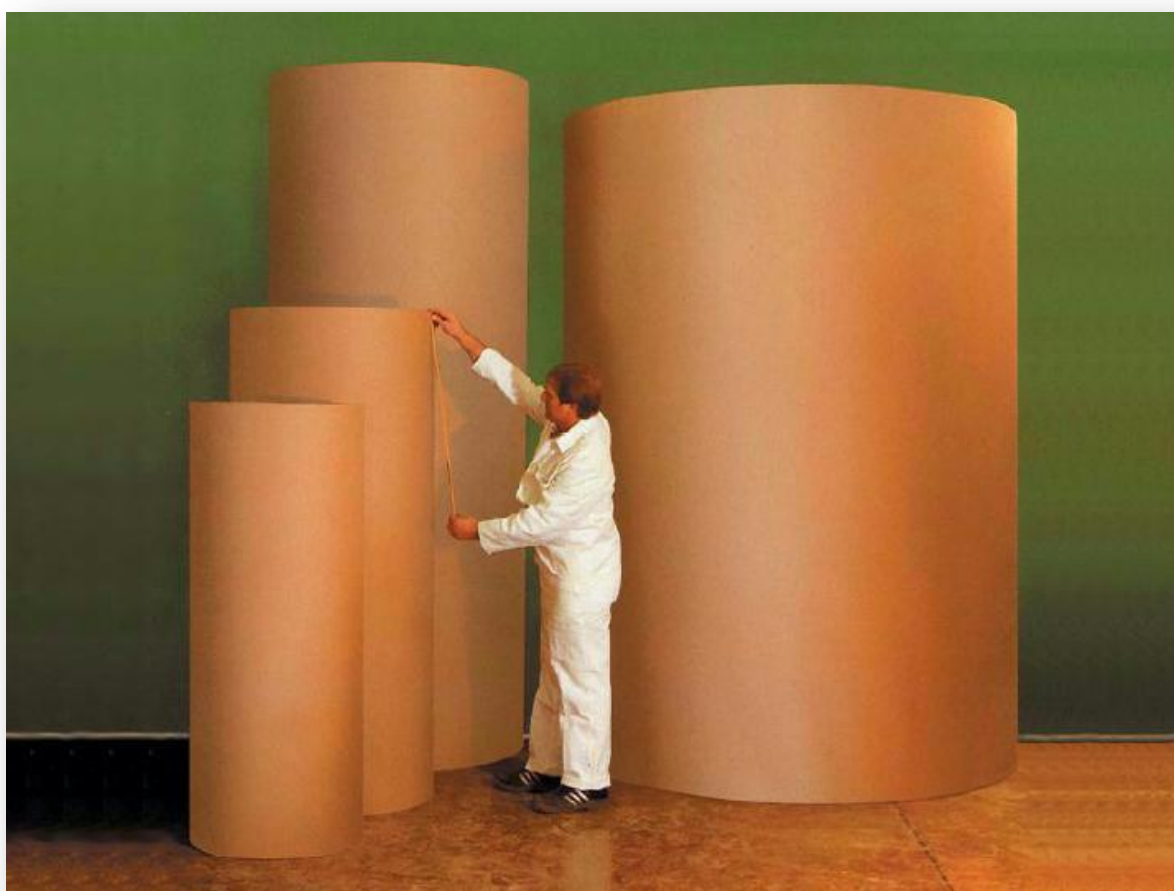


Рис. 3.6 Цилиндры электроизоляционные замкнутые из горячепрессованного картона [2]

3.7 Комплекты изоляции обмоток в сборе [2,3,7,11]

Назначение:

Предварительно смонтированные комплекты изоляции обмоток предназначены для установки на разжимную оправку намоточного станка и намотки катушек с использованием уже подготовленных, скоординированных и точно сопряженных друг с другом компонентов изоляции обмоток.

Состав:

Комплект состоит из компонентов электрической изоляции обмоток: несущих элементов, деталей, определяющих электроизоляционные промежутки и создающих масляные каналы охлаждения, экранирующих устройств, опорной и концевой изоляции, прессующих колец, шайб для усиления изоляции в местах выхода полей рассеяния наибольшей напряженности..

Компоненты изоляции базируются на главном цилиндре. На нем закрепляются с необходимым шагом прошивные рейки, на каждую из которых в замок насажено расчетное количество дистанцирующих прокладок. На поверхности цилиндра закрепляются опорные кольца и концевая изоляция обмоток. Устанавливаются емкостные кольца, верхние и нижние угловые шайбы. Цилиндр устанавливается на прессующие платы (кольца), Комплект плотно изолируется стрейч-пленкой и таким образом готовится к транспортированию. Состав компонентов изоляции обмотки, естественно, определяется чертежом обмотки. Компоненты изоляции для предотвращения сорбции влаги и стабилизации размеров могут перед упаковкой обрабатываться трансформаторным маслом.

Преимущества:

Получение всей необходимой изоляции из одних рук в один срок

Сведение к минимуму подготовительного времени намотки

Повышение производительности намоточного станка и участка

Снижение потребности в складских участках в намоточном отделении

Снижение себестоимости производства обмоток

Рациональный расход материала. Отсутствие отходов.

Компактная упаковка и снижение транспортных расходов (меньший объем и единая поставка)



Рис.3.7 Собранный комплект изоляции из картона для изготовления обмоток [2]

3.8 Опорные и подъемные кольца [1-3, 6-10]

МЭК 641-1 Тип В 3.1

Назначение:

Опорные и подъемные изоляционные кольца предназначены для обеспечения надежного раскрепления и фиксации обмоточного провода обмоток силовых трансформаторов на главном изоляционном цилиндре в заданном положении и недопущения смещения обмотки под действием веса и динамических усилий при испытаниях и коротких замыканиях.

Материал:

Горячепрессованный малоусадочный электротехнический картон из 100% сульфат целлюлозы

Способ производства:

Зависит от требуемых усилий прессовки и максимальных сил динамического воздействия на обмотки. Кольца изготавливаются методами намотки и склейки листов картона, или изготовления многослойных цилиндрических колец с последующей механической обработкой (фрезерование, распиловка, шлифовка).

Конструкция:

Опорные и подъемные кольца изготавливаются по чертежам Заказчика, согласованным с изготовителем. Кольца могут быть цилиндрическими, замкнутыми и разомкнутыми, одно- и многослойными, различной толщины, с правым и левым подъемом по винтовой линии. Опорные ребра колец по окружности могут иметь проемы для обеспечения направленного потока масла.

Технические характеристики:

100% сульфат целлюлоза, высокая чистота состава

Горячепрессованный картон с компенсированными направлениями волокон

Естественный цвет

Высокая твердость и упругость при сжатии «на ребро»

Высокая электрическая прочность

Высокая механическая прочность

Высокая формоустойчивость

Малая усадка и деформация при сжатии

Совместимость с жидкими диэлектриками

Класс нагревостойкости А (105°C)



Рис. 3.8 Подъемные и опорные кольца из горячепрессованного картона для изготовления обмоток силовых трансформаторов [2]

3.9 Емкостные кольца [1-3, 6-10]

Сердечник - МЭК 641-1 Тип В 3.1

Назначение:

Емкостные кольца монтируются на концах обмоток силовых трансформаторов в местах выхода электромагнитных полей рассеяния наибольшей напряженности и служат для выравнивания электрических полей, а следовательно для повышения надежности электрической высоковольтной изоляции, предотвращения преждевременного старения целлюлозной изоляции и ее пробоя.

Открытые подъемные емкостные кольца предназначены для выравнивания электрического поля цилиндрических высоковольтных (часто регулировочных) обмоток силовых трансформаторов и выравнивания осевого размера обмоток.

Материал:

Сердечник – блочный горячепрессованный малоусадочный картон или ДСП

Экранирующий слой – тканная металлизированная медью лента

Покровный изоляционный слой – крепированная бумага

Потенциальный отвод – гибкий медный литц

Изоляция отвода – гибкая крепированная изоляционная трубка

Способ производства:

Механической обработкой изготавливается электроизоляционный сердечник. Ребра скругляются под радиус, как это требует техника высоких напряжений. Организуется выборка для подпайки и выхода потенциального отвода. Все поверхности шлифуются.

На сердечник на радиальном изолирующем станке на сердечник плотно наматывается металлизированная лента, создающая сплошной слой с организованным электроизоляционным промежутком. Слой ленты гальванически соединяется с потенциальным отводом. Отвод изолируется гибкой крепированной трубкой. Поверх металлизированного слоя на этом же станке плотно наносятся несколько защитных слоев покровной изоляции из крепированной бумаги.

Конструкция:

Емкостные кольца изготавливаются в соответствии с габаритными чертежами Заказчика.

Цилиндрические емкостные кольца изготавливаются обычно на замкнутом сердечнике. Если ранее экранирующий слой создавался намоткой на сердечник тонкой медной фольги, то в настоящее время вместо фольги используются тонкие тканые ленты из металлизированных нитей. Потенциальный отвод может выполняться как с наружной, так и со внутренней стороны кольца

Сердечники открытых подъемных емкостных колец изготавливаются методами намотки и механической обработки. Один из торцов кольца выполняется нормально к цилиндрической поверхности. Второй торец выполняется с подъемом по винтовой линии. Потенциальный отвод такого кольца выполняется с торцевой поверхности.

Технические характеристики:

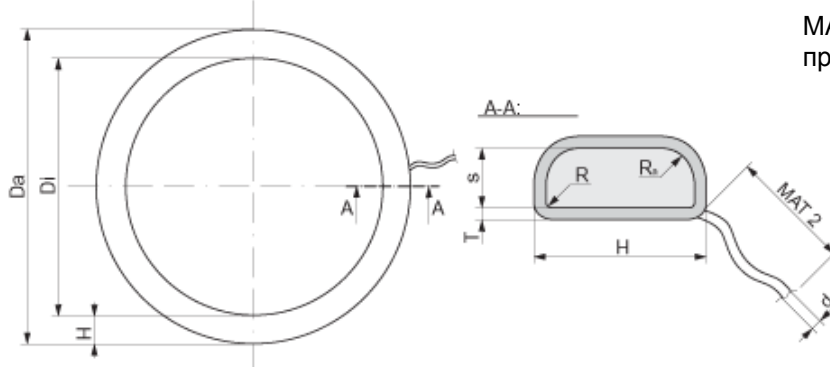
Изоляция - 100% сульфат целлюлоза

Горячепрессованный малоусадочный картон или ДСП
 Высокая твердость и упругость при сжатии
 Высокая механическая прочность
 Малая усадка и деформация при сжатии
 Высокая формоустойчивость
 Высокая чистота состава
 Совместимость с жидкими диэлектриками
 Класс нагревостойкости A (105°C)
 Металлизация из эластичной тканной металлизированной ленты
 Габаритные размеры - согласно чертежу Заказчика

Преимущества:

Благодаря применению тканной металлизированной ленты и ее плотной намотки отсутствуют острые ребра (характерные при использовании, например, медной фольги), что обеспечивает лучшее сглаживание электрического поля.

Размеры емкостных колец, форма А [2]



MAT2 = 6 мм гибкий многожильный провод из мягкой меди

s	Da	Di	H	T	R	Ra
8 - 60 мм	макс. 2500мм	мин. 300 мм	макс. 150 мм	2 – 3 мм	1 – 5 мм	6 - 30 мм

Допустимые отклонения

s	±0,5 мм
H	+1,0 / -0 мм
R	±1,0 мм
Ra	±1,0 мм
T	±0,5 мм
Di	+2,0 / -0 мм
Da	+2,0 / -0 мм

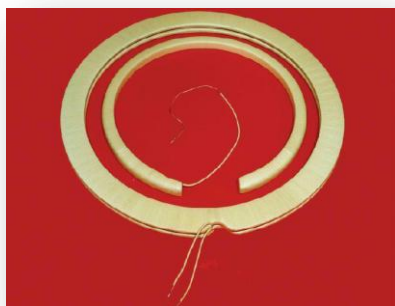


Рис. 3.9 Разрезные и цельные емкостные кольца силовых трансформаторов с сердечниками из горячепрессованного малоусадочного картона [2]

3.10 Экранирующие цилиндры и металлизированные экраны [2,6]

Назначение:

Экранирующие цилиндры и гибкие электростатические экраны устанавливаются вокруг стержней и ярм магнитопровода, а также между обмотками высокого и низкого напряжения силовых трансформаторов. Они обеспечивают:

- увеличение напряжения появления частичных разрядов в результате экранирования острых ребер пластин магнитопровода,
- устранение емкостных связей обмоток ВН и НН при импульсных напряжениях при помещении экранирующего цилиндра между обмотками,
- уменьшение емкостной передачи высших гармоник.

Материал:

Горячепрессованный малоусадочный электроизоляционный картон
Алюминиевая фольга

Конструкция:

Экранирующие цилиндры и исходные гибкие электростатические экраны представляют собой сэндвичевую структуру, в которой металлизированный слой находится между двумя листами горячепрессованного безусадочного картона толщиной 1 мм (0,5 мм).

Металлизированный слой состоит из полос алюминиевой фольги шириной 25 или 52 мм и толщиной 0,08 мкм, наклеенных с шагом 1,5 - 4 мм на один из картонных листов. Отдельные полосы фольги гальванически соединяются друг с другом и с потенциальным отводом, выполняемым из гибкого плоского медного литца. Литц изолируется крепированной трубкой. Два листа картона после этого прошиваются по периметру, так что металлизированный слой оказывается внутри. Экранирующие цилиндры, панели или экраны устанавливаются так, чтобы предотвратить образование короткозамкнутых витков.

Они изготавливаются в соответствии с габаритными чертежами Заказчика.

Технические характеристики:

Изоляция 100% сульфат целлюлоза

Высокая чистота материала

Естественный цвет

Высокая твердость и упругость

Высокая электрическая и механическая прочность

Малая усадка

Совместимость с жидкими диэлектриками

Высокое маслопоглощение

Класс нагревостойкости А (105°C)

Преимущества:

Высокая компактность

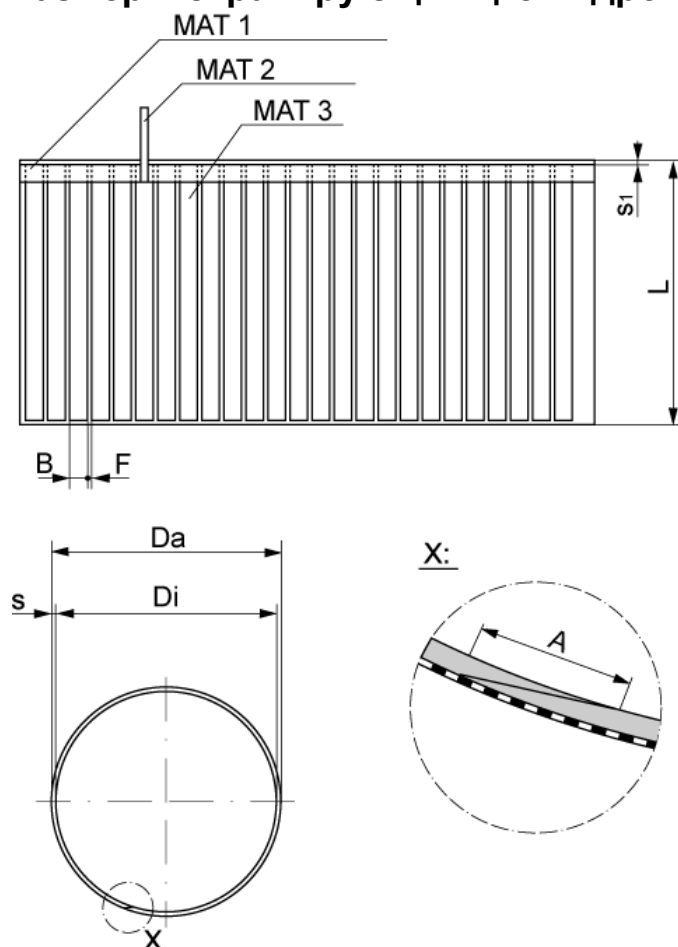
Надежная электрическая и механическая защита проводящего слоя от истирания и повреждения

Высокая технологичность применения

Повышение надежности электрической изоляции трансформатора

Снижение собственных потерь трансформатора от поперечных полей рассеяния

Размеры экранирующих цилиндров, форма 0 [2]



MAT1 = 20 мм лента мягкой меди
MAT2 = 6 мм², гибкая медная шина
MAT3 = полосы алюминиевой фольги

S, мм	Di, мм	L, (макс.), мм	A, мм
1	≥150 до ≤500	1000	70
1	>500 до ≤2500	3000	70
2	≥150 до ≤500	1000	90
2	>500 до ≤2500	3000	90
3	≥250 до ≤500	1000	110
3	>500 до ≤2500	3000	110
4	≥300 до ≤500	1000	130
4	>500 до ≤2500	3000	130
5	≥350 до ≤500	1000	150
5	>500 до ≤2500	3000	150
6	>600 до ≤2500	3000	170
7	>700 до ≤2500	3000	170
8	>800 до ≤2500	3000	170

Другие размеры – по Запросу

Допустимые отклонения

s	$\pm 10 \%$; Область перекрытия +1,0 мм / -0,5 мм
L	+ 2,0 / - 4,0 мм
B / F	$\pm 1,0$ мм
$D_i \leq 1000$ мм	$\pm 1,5$ мм
$D_i > 1000 - 2000$ мм	$\pm 2,0$ мм
$D_i > 2000$ мм	$\pm 2,5$ мм
A	+ 10 мм / - 5 мм



Рис. 3.10 Экранирующие цилиндры обмоток силовых трансформаторов с открытой и сэндвичевой структурой [2]

3.11 Дистанцирующие кольца [1-3,6.10]

МЭК 641-1 Тип В 3.1

Назначение:

Изоляционные дистанцирующие кольца предназначены для нивелирования высоты обмоток одной фазы и трансформатора, механической фиксации обмоток и их изоляции от потенциала заземленного магнитопровода

Материал:

Горячепрессованный малоусадочный картон, блочный картон.

Способ производства:

Механическая обработка на автоматизированных обрабатывающих центрах с числовым программным управлением, Наклейка под прессом при повышенной температуре радиальных реек из блочного ламинированного картона.

Конструкция:

Дистанцирующие кольца изготавливаются по чертежам Заказчика, Они могут изготавливаться в виде простых колец из горячепрессованного или блочного картона необходимой толщины.

В другом варианте на кольца в радиальном направлении с определенным угловым шагом наклеиваются рейки из блочного картона, длина которых совпадает с радиальным размером кольца. На плоскости кольца могут выполняться отверстия и выборки для прокладки отводов.

Технические характеристики:

100% сульфат целлюлоза

Горячепрессованный картон с компенсированными направлениями волокон

Естественный цвет

Высокая твердость и упругость

Высокая электрическая прочность

Высокая механическая прочность

Высокая формоустойчивость

Малая усадка и деформация при сжатии

Гладкая поверхность, отсутствие на поверхности волокон и нарушенных структур

Высокая чистота состава

Совместимость с жидкими диэлектриками

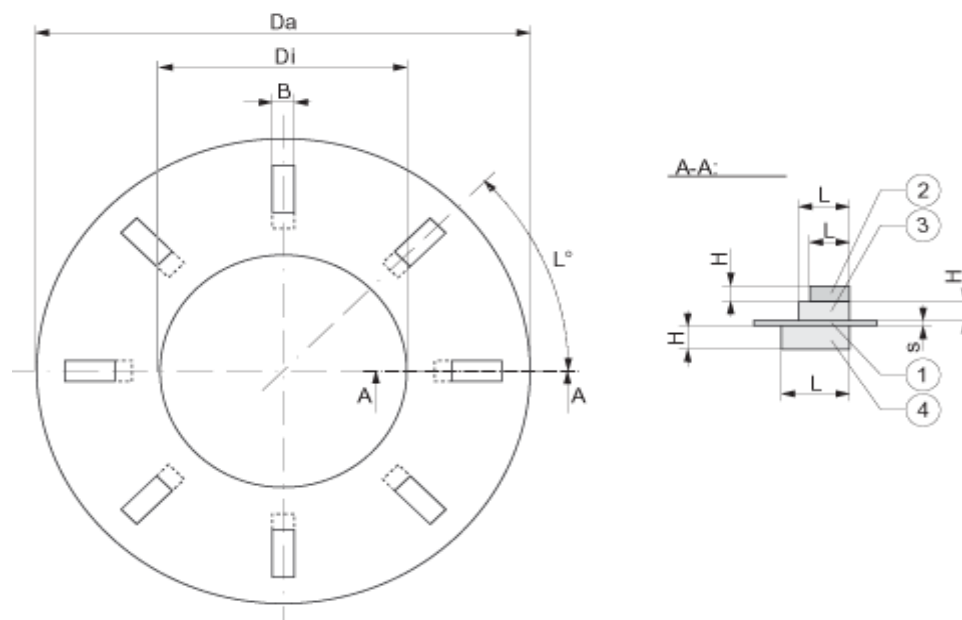
Класс нагревостойкости: А (105°C)

Габаритные размеры: согласно чертежу

Размеры дистанцирующих колец [2]

(на примере двухстороннего варианта)

Приклеиваемые накладки толщиной более 8 мм выполняются из блочного картона



Di	Da	s	B	L	H	L°
мин. 300 мм	макс. 3000 мм	1 - 8 мм	30 - 80 мм	5 - 300 мм	1 - 60 мм	по желанию

Допустимые отклонения

Di	±2 мм
Da	±2 мм
B	±1,0 мм
L	±1 мм
H	±5 %
s ≤ 1,6	±7,5 %
s > 1,6 - 8	±5 %

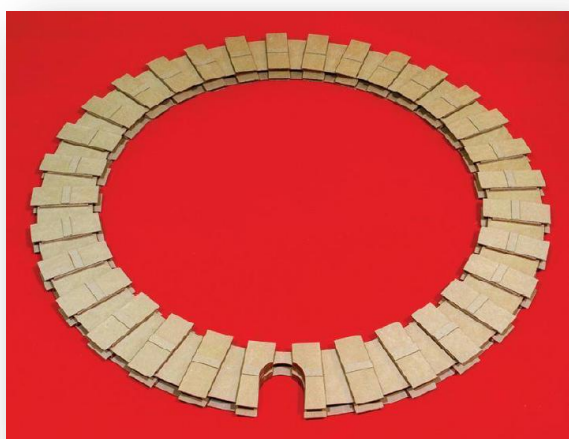


Рис.3.11 Вариант дистанцирующего кольца из горячепрессованного и блочного картона для обмотки силового трансформатора [2]

3.12 Ленты с дистанцирующими блоками и рейками [2,11]

МЭК 641-1



Назначение:

Создание главных электроизоляционных промежутков и вертикальных каналов охлаждения обмоток маслонаполненных распределительных трансформаторов.
Создание вертикальных каналов охлаждения при намотка массивных транспонированных проводов обмоток силовых трансформаторов.

Материал:

Рейки прямоугольного сечения из горячепрессованного малоусадочного картона. или короткие блоки, например, по ширине транспонированного провода, трапецеидальной формы из такого же картона.
Ленты электроизоляционной термостабилизированной бумаги из 100% сульфат-целлюлозы.

Способ производства:

Автоматическая наклейка реек или блоков на ленту бумаги с определенным шагом при перемотке рулона бумаги.

Конструкция:

Материал состоит из одной широкой или двух узких бумажных лент, куда с одной стороны наклеены ленты (перпендикулярно длине) длинные рейки прямоугольного сечения

В другом варианте дистанцирующие блоки трапецеидальной формы клеиваются между двумя узкими лентами изоляционной термостабилизированной бумаги.

Технические характеристики:

100% сульфат целлюлоза
Горячепрессованный малоусадочный картон
Естественный цвет
Высокая твердость и упругость
Высокая электрическая прочность
Высокая механическая прочность
Высокая формоустойчивость
Малая усадка и деформация при сжатии
Высокая чистота состава
Совместимость с жидкими диэлектриками

Класс нагревостойкости:	A (105°C)
Габаритные размеры:	согласно чертежу
Ширина ленты (длина реек), мм:	100-1200 (5-100)
Ширина реек, мм:	4 - 30
Высота реек, мм:	2 - 30
Шаг реек, мм:	10 - 100

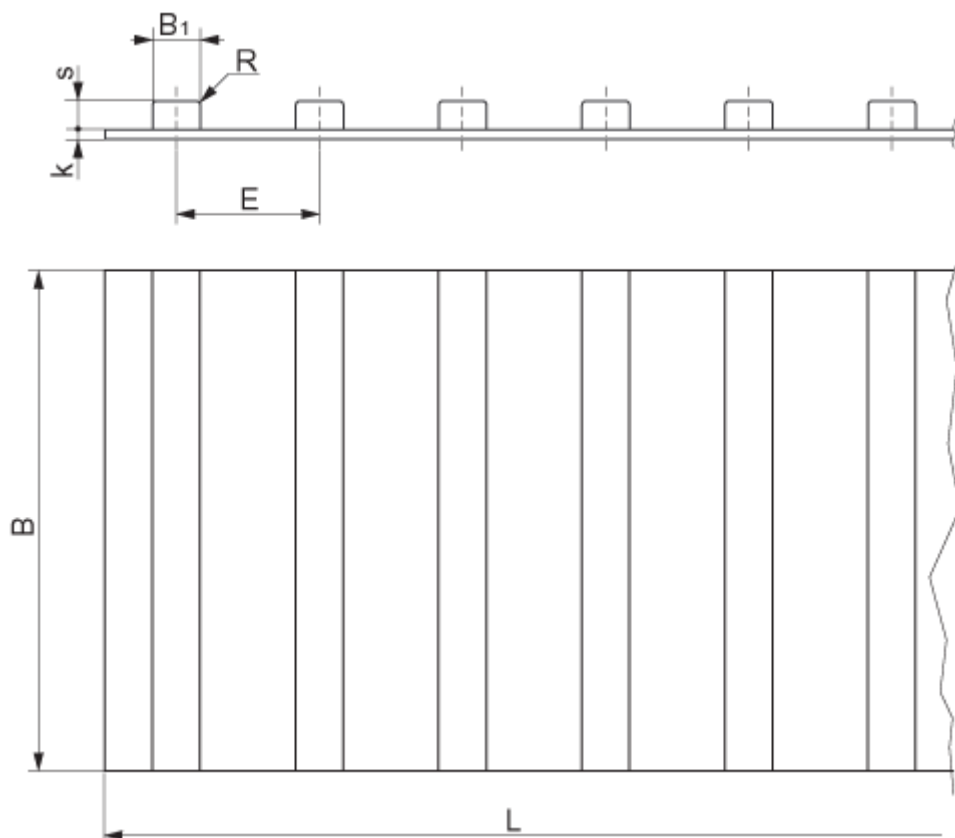
Преимущества:

Повышение производительности труда при намотке
Высокотехнологичная конструкция
Воспроизведение строгой геометрии.

Размеры лент с дистанцирующими рейками типа HD для распределительных трансформаторов [2]

Рейки согласно МЭК 641-1 Тип В 3.1; Основа: бумага Тип Р 2.1

Рейки калиброванные; при $S > 8$ мм рейки изготавливаются из блочного картона.



L	B	k	s	B1	E	R
В рулонах до 30 м	100 - 1280 мм	0,13; 0,25 мм	2 - 30 мм	4 - 30 мм	15 - 100 мм	1 мм

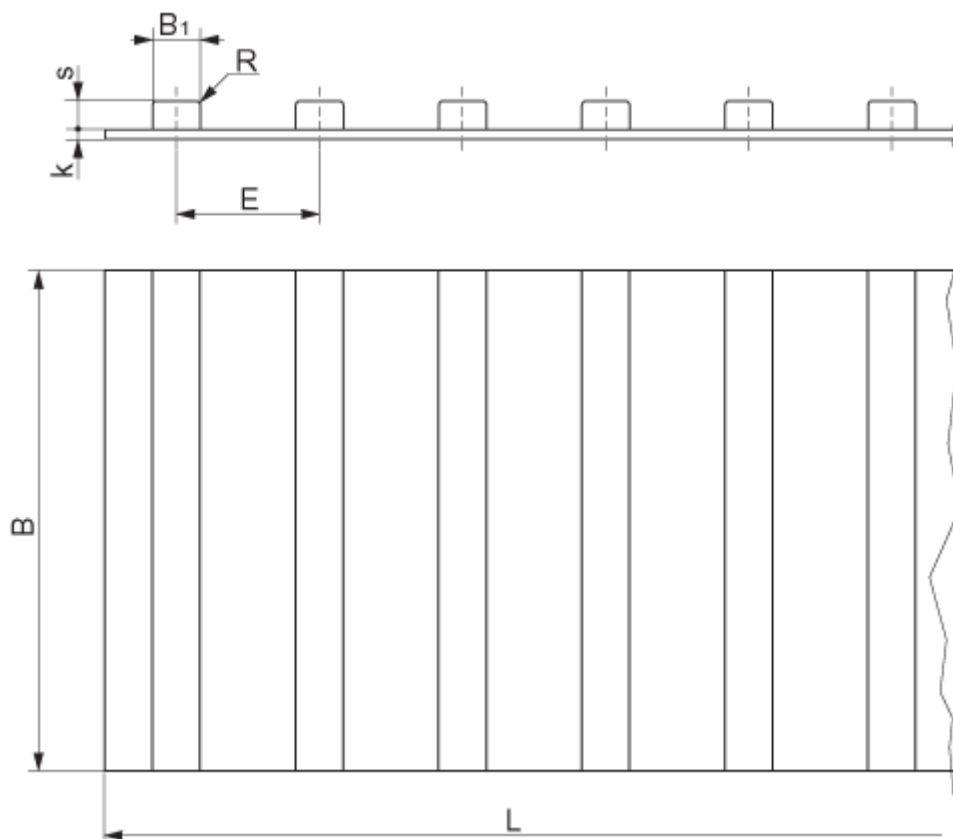
Допустимые отклонения

B	± 3 мм
B1	$\pm 0,5$ мм
k	± 10 %
s	$\leq 5 \pm 0,1$ мм; $>5 \leq 12 \pm 0,2$ мм; $>12 \pm 0,5$ мм
R	$\pm 0,5$ мм
E	± 3 мм

Другие размеры – по Запросу

Размеры лент с дистанцирующими рейками типа С для распределительных трансформаторов [2]

Рейки согласно МЭК 641-1 Тип В 4.1; Основа: бумага Тип Р 4.1



	B	k	s	B1	E	R
В рулонах до 30 м	100 - 1280 мм	0,13; 0,25 мм	2 - 6 мм	5 - 9 мм	15 - 35 мм	1 мм

Допустимые отклонения

B	± 3 мм
B1	±0,5 мм
k	± 10 %
s	± 10 %
R	±0,5 мм
E	±0,20 мм

Другие размеры – по Запросу



Рис. 3.12-1 Лента с дистанцирующими блоками для создания каналов охлаждения при намотке катушек транспонированным проводом [2]



Рис. 3.12-2 Рулон дистанцирующих реек, базированных на двух бумажных лентах, для создания каналов охлаждения распределительных трансформаторов [11]

3.13 Крепированные трубки [2]

МЭК 60564

Назначение:

Электрическая изоляция отводов масляных высоковольтных силовых и распределительных трансформаторов, доизоляция мест сращивания высоковольтных проводов, отводов и кабелей, подлежащих масляному охлаждению

Материал:

Крепированная бумага

Способ производства:

Многослойная однонаправленная плотная намотка лент крепированной бумаги на калиброванный дорн

Технические характеристики:

100% сульфат целлюлоза

Высокая чистота состава

Естественный цвет

Высокая электрическая прочность

Достаточно хорошая механическая прочность

Совместимость с жидкими диэлектриками

Направление крепирования: перпендикулярно длине трубки

Класс нагревостойкости А (105°C)

Диаметр внутренний, мм: 2 - 60

Толщина стенки, мм: 0,5 - 3,0

Длина, мм 1200

Преимущества:

Повышение производительности изолировки и доизоляции отводов.

Сокращение времени выполнения операций доизоляции.

Сокращение времени пребывания активной части силового трансформатора на воздухе. Снижение степени увлажнения изоляции трансформатора.

Снижение вероятности нарушения качества электрического соединения отводов, по сравнению с ручной доизоляровкой лентой изоляционной бумаги.



Рис. 1.13 Гибкие электроизоляционные трубки различных диаметров из крепированной электроизоляционной бумаги [2]

3.14 Электроизоляционные шпильки и гайки [2,11-16,18]

Назначение:

Сборка элементов опорно-изоляционных конструкций, закрепление элементов конструкции и отводов обмоток высоковольтных силовых трансформаторов

Материал:

Блочный ламинированный картон или ДСП

Способ производства:

Механическая обработка

Технические характеристики:

100% сульфат целлюлоза, альтернатива - буковый ДСП

Высокая электрическая прочность

Высокая механическая прочность

Совместимость с жидкими диэлектриками

Класс нагревостойкости

A (105°C)

Стандартные резьбовые стержни (шпильки):

M8; M10; M12; M16; M20; M24

длина шпильки, макс., мм:

1000

Стандартные гайки

M8; M10; M12; M16; M20; M24

толщина гаек, мм:

10 - 24

ширина гаек, мм

20 -60

форма гайки

4- или 6-гранная

Усилие стяжки пары, кН

3 (M6) – 40 (M24)



Рис. 3.14 Электроизоляционные шпильки и гайки из древесно-слоистого пластика для сборки изоляционных и опорно-изоляционных конструкций силовых трансформаторов[14]

3.15 Ярмовые прессующие балки

МЭК 641-1 Тип В3.1 или МЭК 61061

Назначение:

Изоляционные ярмовые, прессующие балки устанавливаются с двух сторон верхнего и нижнего ярма трансформатора и, кроме стяжки магнитопровода, участвуют в осевой прессовки обмоток, принимая на себя усилия сжатия через прессующие кольца или панели. Этим самым создается и поддеоживается в работающем трансформаторе расчетного усилия осевого сжатия обмоток для обеспечения их динамической устойчивости и обеспечения надежной работы трансформатора.

Материал:

Для прессующих балок распределительных трансформаторов используется Блочный ламинированный горячепрессованный малоусадочный картон отдельные листы которого склеены сложнэфирным связующим или прессованный древесно-слоистый пластик на основе шпона красного бука. Для ярмовых балок силовых и специальных трансформаторов средней мощности используются балки из букowego древесно-слоистого пластика

Способ производства:

Механическая обработка на автоматизированных обрабатывающих центрах с числовым программным управлением.

Конструкция:

Прессующие кольца и панели изготавливаются по чертежам Заказчика, согласованным с изготовителем. Для обеспечения лучших условий для сушки и пропитки картонных прессующих балок по площади изделия часто выполняются технологические отверстия и пазы.

Технические характеристики:

Состав: 100% сульфат целлюлоза или высококачественные древесные волокна красного бука

Блочный горячепрессованный малоусадочный картон или буковой ДСП

Высокая твердость и упругость

Высокая электрическая прочность

Высокая механическая прочность

Высокая формоустойчивость

Малая усадка и деформация при сжатии

Гладкая поверхность, отсутствие на поверхности волокон и нарушенных структур

Высокая чистота состава

Совместимость с жидкими диэлектриками

Класс нагревостойкости

A (105°C)

Габаритные размеры:

согласно чертежу Заказчика

Длина, макс., мм

5500 (ДСП)

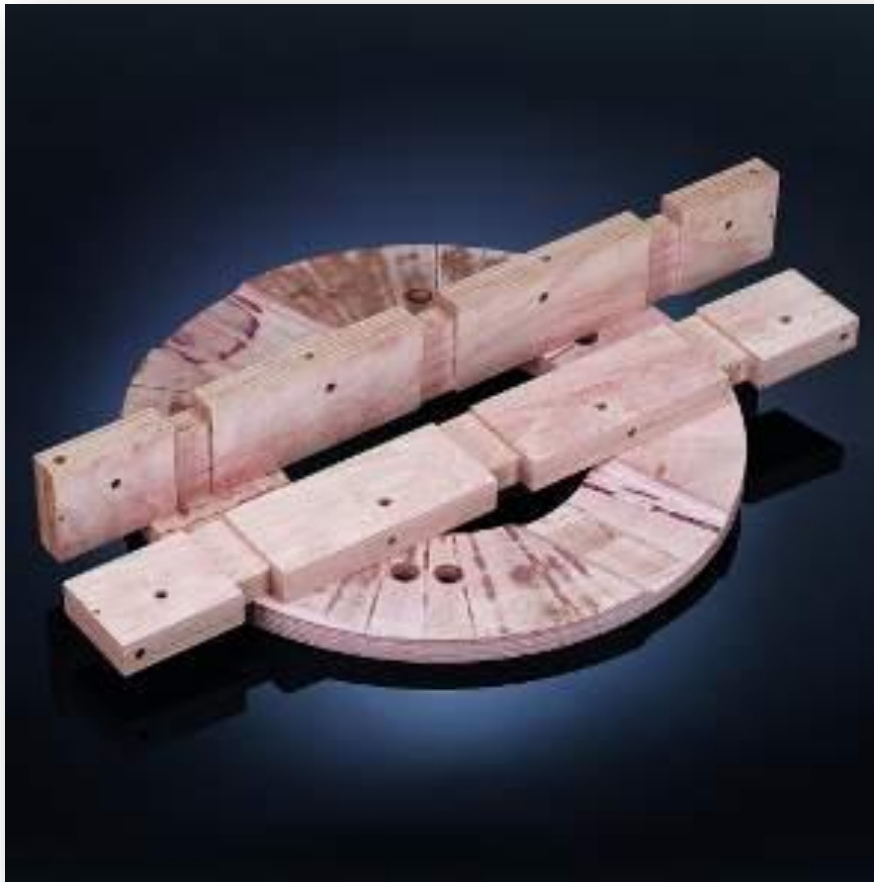


Рис. 3.15 Ярмовые балки и прессующее кольцо из букового древесно-слоистого пластика для силовых трансформаторов [13]

ЛИТЕРАТУРА

1. Isoliersysteme für Motoren und Transformatoren. Prospekt. PUCARO Elektro-isolierstoffe GmbH. Roigheim, 2008, 24 S.
2. Technische Datenblätter. CD, PUCARO Elektro-isolierstoffe GmbH. Roigheim, 2011.
3. Manufacturing Programme. PUCARO Elektro-isolierstoffe GmbH. Roigheim, 2000, 22 S.
4. Compendium. CD. Weidmann Electrical Technology AG. Rapperswil. 2003.
5. Transformerboard. Cellulosic Insulation of Unsurpassed Quality. Prospect. Weidmann Electrical Technology AG. Rapperswil, 2003, 28 p.
6. Bestell-Katalog. H.Weidmann LTD, Rapperswil, 1998, 226 S.
7. WICOR Insulation Conference . Vorträgs-Sammlung. Rapperswill, H.Weidmann Ltd., 1996, 316 S.
8. H.P.Moser "Transformerboard". Scienta Electrica/ H.Weidmann AG Rapperswil, 1979, 120 p.
9. H.P.Moser, V.Dahinden "Transformerboard II", H.Weidmann AG, 1987, 222 p.
10. Transformerboard. Prospect. Enpay, Izmit-Kocaeli, 2010, 17 p
11. High Voltage Insulation Components. . Prospect. Enpay, Izmit-Kocaeli, 2010, 21 p
12. Kunstharzpressholz. Prospekt.. Deutsche Holzveredelung Schweing GmbH & Co.KG, Kirchhundem, 2011, 12 S.
13. Compressed laminated wood. Prospect. Deutsche Holzveredelung Schweing GmbH & Co.KG, Kirchhundem, 2010, 6 p.
14. H.Doop, H.-J..Geers, R.Sanders (Röchling Haren AG). LIGNOSTONE (Transformerwood) – Hochspannungs-Isolierwerkstoffe für leistungstransformatoren. Transform 2001, Tagungsunterlagen, München, 2001, S.123-148
15. HiTech Laminated Densified Wood for Transformer Insulation. Prospect. Rancan Srl., Vicenta, 2009, 6 p.
16. RANPREX in the Energy Supply. Prospect. Rancan Srl., Vicenta, 2010, 6 p.
17. Electrical Grade Insulating Kraft Paper. Catalog. Vijaya Mercantile Ltd. New Delhi, 2011, 2,3 p
18. Transformer Pressboard. Catalog. Umang Boards Ltd. Kaladera.
www.unangboards.com
19. Figeholm Elboard. <http://www.figeholm.com>
20. Малинская бумажная фабрика – Вайдманн, ПАО. www.3716.ua.biz
21. Roman Boards. www.romanboards.com

Авторы: *к.т.н. Валентин Федорович КОЛБАСОВ* -
зам. директора ООО «Виразтранс-Энерго»
по развитию и внешнеэкономическим связям
тел. (8482)515874, e-mail: v.kolbasov@mail.ru

дипл. инженер Сергей Юрьевич САВЕЛЬЕВ -
директор ООО «Виразтранс-Энерго»
тел. (8482)515873, e-mail: viragetrans@mail.ru

Dipl.Ing. Jörg HENTSCHEL -
Verkaufsabteilungsleiter von PUCARO Elektro-
Isolierstoffe GmbH, (Roigheim, Deutschland)
Tel.: +49 6298 27 216;
e-mail: joerg.hentschel@de.abb.com